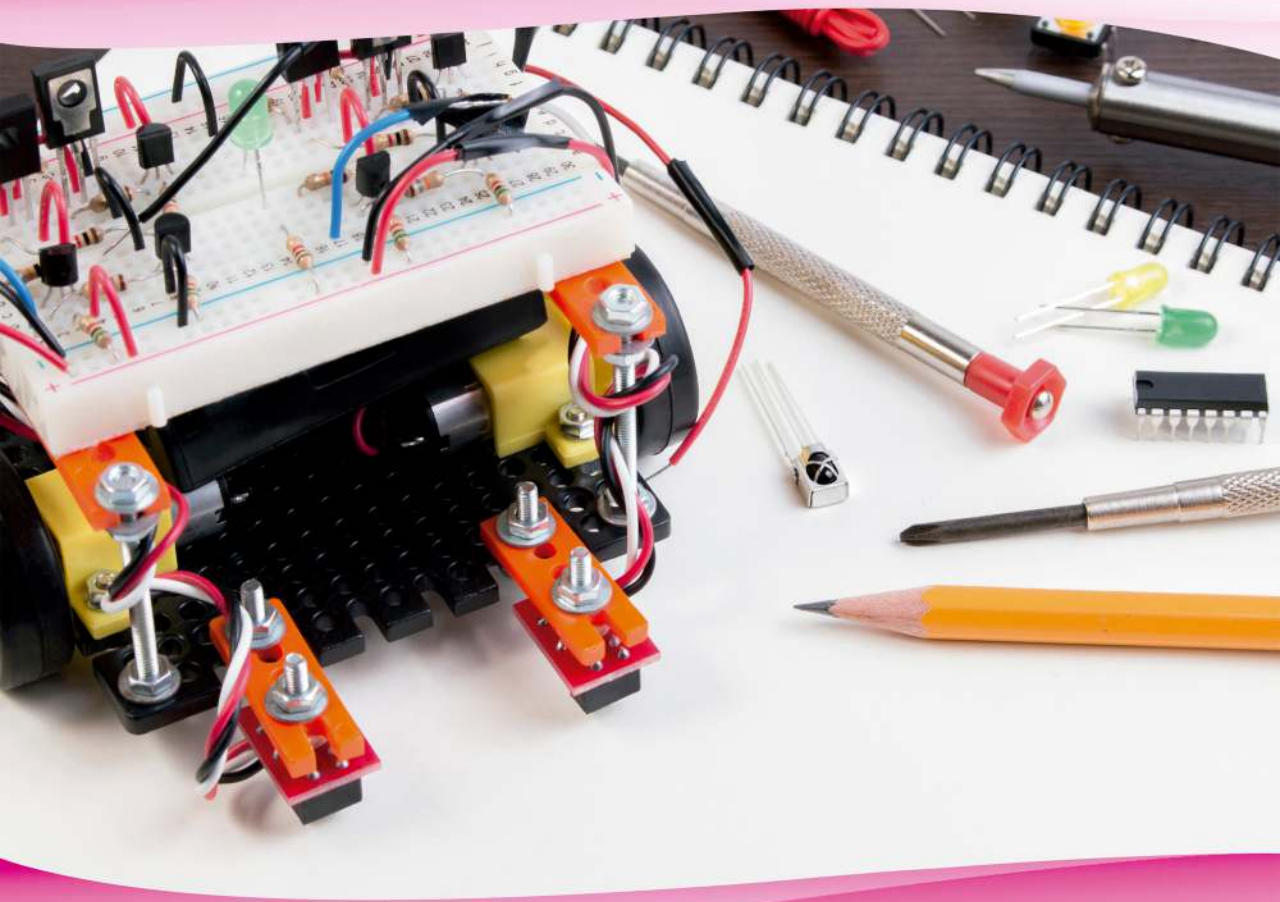


Electrónica para makers
Guía completa

Paolo Aliverti

- Explicaciones sencillas y ejemplos prácticos
- Aprende a realizar circuitos electrónicos completos
- Impresión 3D, Arduino y microcontroladores
- Toda la información para ser autónomo en tus proyectos

Marcombo

Electrónica para makers

Guía completa

Electrónica para makers

Guía completa

Paolo Aliverti

Marcombo

Edición original publicada en italiano por Edizioni LSWR con el título: *Elettronica per maker*,
© Paolo Aliverti 2016.

Título de la edición en español:

Electrónica para makers

Primera edición en español, año 2017

© 2017 MARCOMBO, S.A.
www.marcombo.com

Traducción: Sònia Llena

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Esta publicación contiene opiniones del autor y tiene por objeto proporcionar información clara y precisa. El procesamiento de textos, incluso si se realiza con una atención escrupulosa, no puede asumir la responsabilidad específica del autor y/o editor de los posibles errores o imprecisiones.

El editor ha hecho todo lo posible para obtener y citar las fuentes exactas de las ilustraciones. Si en algunos casos no ha sido posible encontrar alguna con derechos de autor, está disponible para hacer frente a las omisiones involuntarias o errores en las referencias citadas.

ISBN: 978-84-267-2449-6

D.L.: B-6932-2017

Impreso en Prodigitalk
Printed in Spain

Sumario

INTRODUCCIÓN 9

1. CIRCUITOS ELECTRÓNICOS, CORRIENTES Y TENSIONES 13
   - Dipolo 14
   - La corriente eléctrica 17
   - La tensión o diferencia de potencial 23
   - Potencia 28
   - Tiempos y frecuencias 29
   - Anillos de tensión y nodos de corriente 30
   - La ley de Ohm 33
   - Medidas eléctricas 36
   - La verdad sobre agua y corriente 41

2. COMPONENTES ELECTRÓNICOS 43
   - Resistores 44
   - Ledes 64
   - Condensadores 68
   - Cables eléctricos 73
   - Inductores 75
   - Pulsadores e interruptores 78
   - Relé 80
   - Motores 83
   - Servomotores 84
   - Altavoces 85
   - Micrófonos 87
   - Soluciones 88

3. CONSTRUIR CIRCUITOS 89
   - El taller y las herramientas 90
   - Placa de pruebas 93
   - Soldar 106
   - Placas perforadas 114
   - Del esquema al prototipo 117

4. SEMICONDUCTORES 121
Diodos 121
El transistor bipolar 127
El transistor de efecto de campo 144
Circuitos integrados 152

5. PROYECTOS Y EXPERIMENTOS: ENTRAMOS EN EL LABORATORIO 157
Led con pulsador 157
Carga y descarga de un condensador 160
Experimento con un led y un diodo 161
Hola transistor 164
Transistor con relé 166
Led fotosensible 169

6. SEÑALES Y MEDIDAS 171
Trabajar con señales 174
Amplificadores 175
Filtros 189
Moduladores y demoduladores 197
Osciladores 198
Temporizador 200

7. ALIMENTAR LOS CIRCUITOS 201
Baterías y alimentadores 201
Alimentadores 206
Fabricación de un alimentador estabilizado 208
Fabricación de un alimentador estabilizado regulable 212
Alimentación dual 214
La masa 214

8. ELECTRÓNICA DIGITAL 215
Lógica booleana 216
Familias lógicas 227
Circuitos combinacionales 229
Convertidores 231
Interruptores lógicos, MUX y DEMUX 233
Circuitos secuenciales 235
Generadores de reloj 235
Biestables 239
Registros 243
Contadores 247
Convertidores analógico-digitales y digital-analógicos 248
Trabajar con distintos niveles lógicos 249

9. MICROCONTROLADORES 253
Kit de desarrollo 257
El ordenador en el zapato: programar un chip AVR 262
Programar un ATtiny85 266
Programar en C 273

10. DEL PROTOTIPO AL PRODUCTO 277
Circuitos impresos 277
gEDA 280
Fritzing 294
Realizar un circuito impreso en casa 298

11. PROYECTOS DIDÁCTICOS 307
Ledes intermitentes 308
Tester de estrés 311
Led controlado por luz 312
Led de encendido progresivo 319
Interruptor Soft Latch 321
Led oscilante 326
Vúmetro con un LM3915 331
Amplificador 2W 333
Preamplificador con transistor 335
Ecualizador 336
Mezclador 337
Radio a transistores 338

CONCLUSIÓN 345

APÉNDICE A: ARDUINO 347

APÉNDICE B: ARDUINOSCOPIO 359

BIBLIOGRAFÍA 363

ÍNDICE ANALÍTICO 367

Introducción

Nací en los años setenta y fui siempre un niño muy curioso. Me atraían los objetos electrónicos tanto que cuando alguien tiraba una radio o un televisor yo intentaba echarles el guante para desmontarlos, ver qué había dentro y entender cómo estaban hechos. En el interior de los televisores había unas placas enormes repletas de piezas de colores, textos y cables. ¿Cómo podía todo aquello producir imágenes? ¿Se podía obtener algo más de aquellos circuitos? A los diez años encontré el libro decisivo para mi futura carrera: *Manuale dello scienziato* (Manual del científico). Era un libro pequeño al estilo del *Manual de los jóvenes castores*, tan popular en aquellos tiempos, solo que en lugar de enseñar a construir cabañas y a vivir en el bosque desvelaba una serie de trucos científicos y físicos. Era todo en viñetas: ¡Precioso! La última sección del libro iba sobre la electrónica. Leía y releía las páginas intentando aprenderlo todo. Había muchas cosas un poco difíciles de entender, pero el tema me gustaba. También en aquella época encontré en el sótano otro libro maravilloso: *Elettrotecnica figurata* (Electrotecnia ilustrada), también ilustrado. Enseguida empecé a frecuentar la biblioteca buscando otros libros que pudieran darme más información. Por aquel entonces no había Internet y la vida de los jóvenes inventores era muy difícil. Sin embargo, existían en los quioscos muchas revistas de electrónica y, en una localidad muy cercana a la mía, había además una tienda dónde vendían componentes electrónicos. Me he gastado muchas pagas yendo en bici entre Ceriano Laghetto y Cogliate para ir a comprar ledes, resistencias y circuitos integrados. Esta pasión mía, nacida por casualidad, me ha llevado muy muy lejos. Después de tantos años, de vez en cuando todavía abro el *Manual del científico* y siento fascinación por su claridad y simplicidad. Por todo ello nace este libro. Me gustaría regalaros un resumen de mi viaje de más de treinta años. Las cosas han cambiado mucho, pero las dificultades con las que se encuentran los principiantes son siempre las mismas, incluso en los tiempos de Google.

El movimiento de los *makers*, nacido en los Estados Unidos hace unos años, también se

está difundiendo en Italia. Cada vez son más los que reconstruyen objetos por placer o con la esperanza de transformar una afición en una empresa. Los *makers* estudian las tecnologías y las difunden de forma gratuita y en abierto. Los dos símbolos más evidentes y conocidos de este movimiento son Arduino y las impresoras 3D.
Arduino es una placa electrónica programable que puede ejecutar secuencias de operaciones e interactuar con *hardware*. Para programar la placa se necesita solo un cable USB que se conecte a un ordenador. La programación ha sido simplificada al máximo, ocultando una serie de complicaciones técnicas. Así, la tecnología de los microcontroladores se ha puesto en manos de un amplio público. Esto le ha dado la oportunidad a muchas personas de crear diseños hasta hace poco tiempo impensables. Con un microcontrolador es posible leer sensores, conectarse a Internet o construir máquinas con control numérico. Arduino puede conectarse a motores y herramientas y puede interpretar, con un programa especial, instrucciones estándares utilizadas en el sector industrial (los G-Code). Las impresoras 3D han nacido así, sacando provecho de una patente caducada y la tecnología ofrecida por un pequeño chip. Los proyectos para construir las máquinas diseñadas por los *makers* son *open source* y cualquiera puede utilizarlos para construirse en casa una réplica de la máquina. Evidentemente, no podrá contar con las mismas prestaciones, velocidad y áreas de trabajo, pero son al fin y al cabo máquinas capaces de construir objetos de una forma rápida, precisa y repetible. Partiendo de un modelo o de un diseño, es posible fresar, imprimir, grabar y cortar prácticamente en un clic. En teoría, cualquiera podría construirse una pequeña fábrica en su garaje. ¡Esto es la *digital fabrication*! Son muchos los que piensan que nos encontramos ante una nueva revolución industrial. Con los instrumentos de la *digital fabrication*, la gente puede construir objetos a medida para satisfacer sus propias necesidades.
En el año 2013, durante la primera edición de la Maker Faire europea, la feria de los *makers*, se contabilizaron 35.000 visitantes; al año siguiente se registraron 90.000. A raíz de este fenómeno, son muchas las personas que actualmente se están acercando a la electrónica. Muchos necesitan crear placas y circuitos para hacer funcionar objetos, dotarlos de interactividad o emitir y transmitir señales. A menudo, sin embargo, estas personas no tienen una formación electrónica, sino que son diseñadores, arquitectos, inventores, innovadores, etc. que no tienen ni idea de cómo funciona un circuito. Simplemente tienen problemas que quieren resolver y buscan la manera de hacerlo. Muchos se encuentran en una situación similar a la del niño que desmonta un televisor y descubre un mundo misterioso e incomprensible. Con Arduino cualquiera puede construir objetos complejos y modulares con pantalla, *bluetooth*, wifi, GPS, etc. incluso sin saber mucho de lo que se trata. A veces, se necesita conectar algo distinto, aunque sencillo, y surgen los problemas: ¿cómo se conecta un relé? ¿Qué resistencia se necesita para conectar un led?

Este manual es un texto introductorio y simplificado. Muchos de los temas han sido reducidos para facilitar su comprensión e ir directamente al grano. Los argumentos no son sencillos y esconden conocidos problemas físicos y matemáticos que he intentado evitar y en los que podéis profundizar con las obras que indico en la bibliografía. He querido mantener un enfoque operativo para poneros en condición de comprender y, por tanto, de hacer.

Temas del libro y descripción de los capítulos

He intentado darle al libro un estilo lo más lineal posible, esforzándome en explicar los temas según el orden más lógico y coherente para un principiante. El libro está estructurado en once capítulos, seguidos de dos apéndices y una bibliografía para consultas posteriores.

El primer capítulo trata la teoría necesaria para comprender un circuito eléctrico y el funcionamiento de los componentes electrónicos más importantes, ilustrados en el capítulo 2. En el capítulo 3 aprenderemos a construir circuitos sobre placas de pruebas y a utilizar un soldador. El capítulo 4 explora los componentes semiconductores, como diodos, transistores y circuitos integrados.

El quinto capítulo está dedicado al desarrollo de proyectos prácticos para familiarizarnos con las placas de pruebas y con la lectura de los esquemas electrónicos. En el capítulo 6 hablaremos de señales y de circuitos para elaborarlas. El séptimo capítulo trata de los alimentadores. En el octavo, conoceremos la electrónica digital y experimentaremos con ella, para explorar el tema de los microcontroladores en el capítulo 9. En el décimo capítulo aprenderemos a diseñar un circuito impreso y a crearlo con *software* como gEDA o Fritzing. Por último, el capítulo 11 es una recopilación de proyectos útiles y esenciales para completar la práctica y adquirir un poco de experiencia con resistencias y transistores.

He decidido no incluir un capítulo sobre Arduino, sino añadir una breve referencia en el apéndice, junto a la descripción de un proyecto *open source* para la construcción de un sencillo osciloscopio.

Se puede acceder a otras explicaciones, actualizaciones y contenidos extra visitando el sitio web del autor: http://www.zeppelinmaker.it.

Sobre el autor

Paolo Aliverti, ingeniero de telecomunicaciones, artesano digital y emprendedor, se graduó en 1999 en el Politecnico di Milano con una tesis en robótica e inteligencia artificial que trataba sobre un sistema de visión para robots que juegan al fútbol. A los diez años empezó a interesarse por la electrónica y los microordenadores. Ha escrito

el *Manuale del Maker* (Manual del *Maker*) para LSWR (traducido al inglés por Maker Media) y dos libros más sobre la impresión 3D. Organiza cursos y talleres sobre *Digital Fabrication*, Internet de las Cosas e Informática física. En 2011 fundó la Frankenstein Garage y, más tarde, el FabLab Milano, que se ocupa del diseño y la creación de prototipos para empresas. Es aficionado al alpinismo.

Agradecimientos

Gracias a la editorial EDIZIONI LWSR por la confianza y la paciencia. En particular, al responsable editorial Marco Aleotti, quien me ha seguido y aconsejado durante el proceso de elaboración del libro. Gracias a Giovanni Branca, quien se ha ocupado de revisar pacientemente lo que he escrito.
Agradezco a mi estimado amigo Francesco Ranucci (http://fraranux.blogspot.it), incansable y genuino maker, artesano y tocador de zanfona, por haber revisado el libro. Y gracias también a Dario Gavezotti, por sus preciados consejos.
Dedico este libro a mi familia: a mi esposa, Eleonora, a mis tres preciosos hijos, Emma, Samuele, Giona, y a mis padres.

Advertencias

La corriente eléctrica puede ser muy peligrosa: es invisible y, si no se es consciente ni se está seguro de lo que se hace, se puede sufrir un accidente grave o mortal. Nunca utilicéis en vuestros experimentos una tensión de red de 220 V. Utilizad solo pilas o baterías, sin dejar de prestar la máxima atención.
Hace mucho tiempo estaba en Roma trabajando con los robots de la Robocup99. El equipo del Politecnico di Milano tenía un robot llamado Rullit que jugaba en la Medium Size League. Rullit era un robot bastante pesado, que se alimentaba con varios paquetes de baterías de doce voltios y varios kilos de peso.
Tras muchas horas de programación estaba exhausto. Conectando la alimentación del robot intercambié los cables rojos con los negros, lo que produjo una fuerte sacudida y una pequeña explosión, provocando un agujero en el tapete verde del campo de juego.
Si no os sentís seguros o tenéis alguna duda, preguntad a un experto, un amigo, un electricista... En Internet existen muchos sitios y grupos (también en Facebook), aunque en estos casos no es fácil saber si una persona es realmente experta.
Ni yo ni el editor podemos asumir ninguna responsabilidad ante los resultados conseguidos en los experimentos descritos en este libro. No podemos dar cuenta de incidentes o daños sufridos por cosas, personas y animales que podrían producirse al realizar dichos experimentos.

1

Circuitos electrónicos, corrientes y tensiones

Para diseñar circuitos y entender el comportamiento de los dispositivos electrónicos, cabe empezar por los conceptos básicos. Hablaremos de corrientes, tensiones, resistencias y de las coincidencias que las unen. Para explicar todos estos conceptos, compararemos la corriente eléctrica con una corriente de agua.

Empezamos nuestra aventura con una parte un poco aburrida, cosa que, por otro lado, siempre es así. Para escalar una montaña debemos dejar el coche abajo para, después, sumergirnos por aburridos caminos escondidos en el bosque antes de ver aparecer las majestuosas cimas cubiertas de nieve. En las siguientes páginas, repasaremos un poco de teoría y trataremos de entender qué son y cómo se comportan las corrientes eléctricas.

Tomemos una placa electrónica y observémosla con atención. Parece una ciudad en miniatura con bandas de líneas que parecen calles que la recorren de forma ordenada uniendo entre ellas pequeños cilindros o cubos, normalmente negros y llenos de misteriosos textos. Estamos observando el producto final de un trabajo de diseño y producción que empezó, probablemente, meses o años atrás. El circuito que tenemos en las manos ha sido, en primer lugar, diseñado conectando una serie de símbolos sobre un papel o una pantalla y, después, transformado en un objeto real, hecho con plástico, resinas y metales de distintos tipos. Las pequeñas líneas, de color verde, se denominan pistas y son la equivalencia a un cable eléctrico. Los pequeños objetos de forma cilíndrica o cúbica son componentes electrónicos que se utilizan para modificar el flujo de la corriente. Este artefacto se denomina circuito impreso o PCB (*Printed Circuit Board*) y... estamos invadidos por ellos.

Cuando los circuitos impresos todavía no existían (surgieron después de la Segunda Guerra Mundial), los circuitos se realizaban conectando con cables distintos elementos. Construir circuitos así no es demasiado eficiente: es muy fácil equivocarse y la operación solo puede hacerse a mano. Hoy en día todavía se realizan circuitos de este modo, aunque solo para crear prototipos. Los circuitos impresos permiten obtener en poco tiempo resultados fiables. Los circuitos modernos están hechos para ser montados en máquinas, ahorrando así mucho tiempo y produciendo miles de ejemplares al día.

Dipolo

El material base para construir circuitos son los componentes electrónicos. Un dispositivo electrónico genérico dotado de dos terminales se denomina dipolo. No lo pidáis nunca en una tienda de electrónica porque es un componente que no existe: es solo teórico y, por tanto, corréis el riesgo de hacer el ridículo. Los dipolos sirven para estudiar las conexiones y la forma de los circuitos (en términos cultos: la topología de los circuitos). Enseguida los veremos en detalle y les daremos una forma y un nombre más precisos.

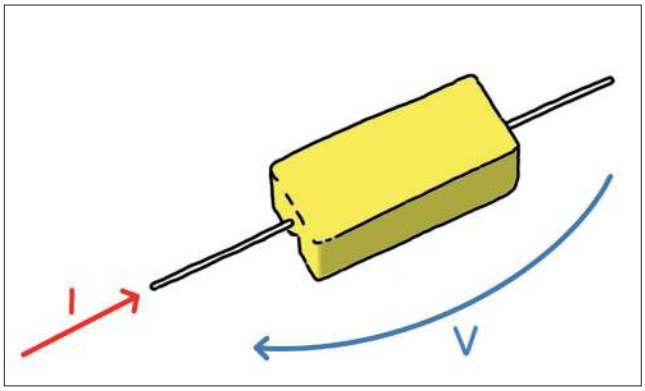


Figura 1.1 - Símbolo del dipolo eléctrico.

El dibujo en papel del dipolo es el **símbolo** que lo representa. Para facilitar la comprensión de los fenómenos eléctricos, diremos que la corriente es comparable al agua que circula por una tubería. Esta metáfora ayuda mucho a comprender ciertos fenómenos, pero presenta limitaciones y puede inducir a conceptos erróneos, por lo que la utilizaremos solo cuando sea necesario para abandonarla en cuanto sea posible. Un cable eléctrico por el cual pasa corriente puede ser comparable a la tubería por la cual circula el agua. Un dispositivo electrónico es comparable a una tubería que modifica el flujo del agua; en realidad, es un objeto construido con materiales o formas concretas, que utiliza fenómenos físicos, químicos y eléctricos para modificar la corriente que lo atraviesa.

Un circuito eléctrico está formado por un conjunto de dipolos conectados entre ellos por cables eléctricos. Podemos conectar los dipolos y los cables con infinitas combinaciones, aunque existen reglas que se deben respetar:

- los dipolos tienen siempre y solo dos terminales;
- las conexiones entre dipolos se llevan a cabo desde sus terminales (inunca sobre el cuerpo!);
- si retomamos la analogía del agua, el fluido que entra por un terminal del dipolo debe salir por completo por el otro terminal;
- puesto que los dipolos son solo símbolos, sus terminales pueden ser tan largos como nos plazca;
- cuando conectamos juntos los terminales de varios dipolos, creamos un **nodo**;
- nuestra composición de dipolos no puede tener terminales libres.

La electrónica tiene mala fama. Se dice de ella que es difícil, porque está estrechamente vinculada con las matemáticas y la física. Yo creo que, en realidad, las matemáticas están presentes en todo, por lo que no debemos preocuparnos demasiado por la electrónica. Cuando conectamos entre sí un "puñado" de dipolos, creamos lo que un matemático denominaría **grafo**.

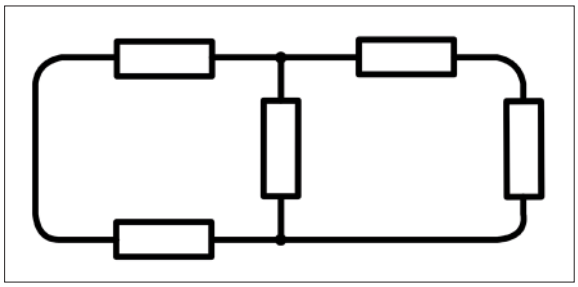


Figura 1.2 - Un grafo de dipolos.

El dibujo de un circuito eléctrico es parecido a una partitura musical. Las notas del pentagrama son una manera de seguir la música y detenerla, además de para indicar a cualquier músico cómo reproducirla con su instrumento. Un esquema eléctrico sirve para realizar un seguimiento del circuito y para especificar cómo deberá llevarse a cabo. Tanto la partitura como el esquema eléctrico son convenciones que podemos utilizar para compartir con los demás lo que hemos hecho. Al finalizar los primeros capítulos, seremos capaces de leer un esquema eléctrico y de crearlo, sustituyendo los símbolos dibujados sobre el papel por elementos reales. Durante la creación del circuito, encontraremos una serie de pequeñas dificultades, puesto que

a menudo no existe una correspondencia directa entre el símbolo y el objeto real. Aprenderemos también a solventar estos pequeños dilemas electrónicos.
Si ahora, siguiendo atentamente el esquema de la figura 1.2, sustituyéramos cada dipolo por un dispositivo real, crearíamos un circuito electrónico. Si el esquema es muy complejo, podemos tener cruces de líneas: en este caso, los cables se consideran conectados si en cada cruce existe un nodo. Para evidenciar que los cables no están en contacto, hay quien dibuja un pequeño arco que se corresponde con el punto de cruce, como para indicar que uno de los cables pasa por encima y el otro, por debajo.

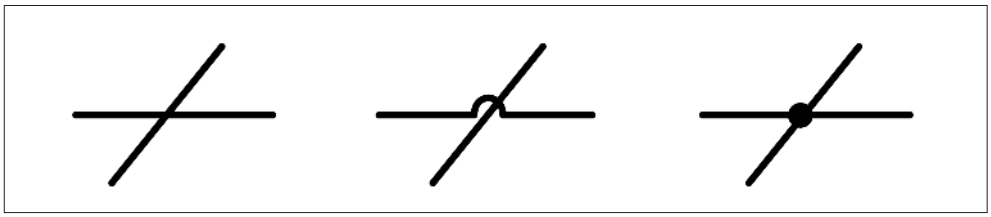


Figura 1.3 - El contacto entre dos cables se muestra mediante un punto muy destacado.

Otras veces nos encontraremos con componentes que tienen tres o más terminales, si bien hemos dicho que los dipolos solo tienen dos. Desde el punto de vista de los gráficos, estos objetos se pueden considerar como compuestos por varios dipolos conectados. Los transistores tienen tres terminales, pero podrían representarse con una composición de dipolos. Por razones de brevedad, esta composición se resume con un símbolo más sencillo y rápido de usar.

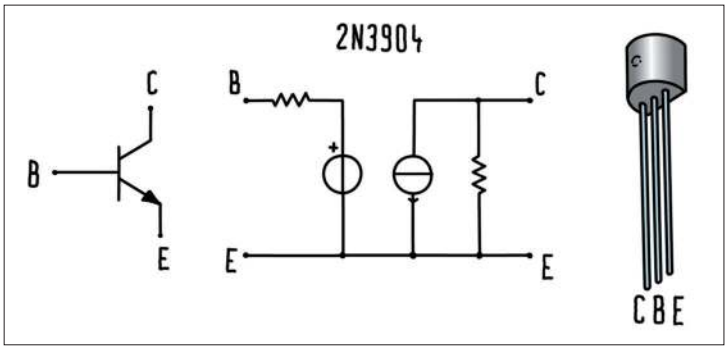


Figura 1.4 - El símbolo del transistor tiene tres terminales; es una sencilla simplificación de su modelo con dipolos.

Como íbamos diciendo, en muchas partes no existe una correspondencia directa entre el símbolo y el dispositivo propiamente dicho. Por ejemplo, los tres terminales de los

transistores se denominan E, B y C, pero no todos los transistores respetan este orden. Los símbolos de los circuitos integrados son simples rectángulos y sus terminales aparecen siempre para simplificar el diseño del circuito, nunca como son realmente.
¿Cómo podemos conocer todas estas informaciones? Hace tiempo, antes de Internet, se utilizaban libros en los cuales se listaban las características de los transistores, diodos y circuitos integrados. Las empresas electrónicas publicaban obras repletas de hojas de especificaciones, es decir, de páginas muy detalladas con las características eléctricas y mecánicas y las instrucciones de uso de sus productos. Hoy en día, gracias a Internet, en pocos segundos podemos obtener cualquier hoja de especificaciones. Entrad y visitad los sitios web de RS Components o de Farnell, en los cuales no es necesario registrarse para acceder a sus contenidos.

La corriente eléctrica

Empecé a interesarme por los fenómenos eléctricos cuando tenía diez años. Curioseando entre los libros de mi abuelo Gino, encontré *Elettrotecnica figurata*, de la editorial Hoepli. Era un texto simple y muy claro, que incluso un niño podía leer y entender. En las páginas de aquel libro, el autor explicaba cada concepto y dispositivo eléctrico con analogías acuáticas. Las transmisiones por radio se explicaban con dibujos de un aspersor para el césped.

Figura 1.5 - La cubierta del libro *Elettrotecnica figurata*.

A menudo, los profanos tienden a confundir algunos términos como: electricidad, corriente, tensión, potencia, etc. que, obviamente, son conceptos muy distintos. Según el diccionario, la electricidad es una propiedad de la materia fácilmente observable que se manifiesta con la atracción o repulsión de cuerpos por efecto de las cargas eléctricas presentes. El nombre procede del griego y significa ámbar, porque si frotamos repetidamente con un trapo un trozo de ámbar este se carga negativamente y es capaz de atraer objetos de poco peso, como plumas o trozos de papel. Ahora hablaremos de **corriente eléctrica** como si fuera una cosa en sí misma, aunque en realidad corriente, tensión, resistencia y potencia son entidades relacionadas entre ellas y con dependencias recíprocas que pueden describirse con fórmulas matemáticas, pero por el momento no hablaremos de ello.

La corriente eléctrica es un fenómeno producido por el movimiento de partículas cargadas eléctricamente dentro de un material conductor, como el cobre o el hierro. Antes se creía que estas partículas tenían una carga positiva, pero en realidad son electrones, es decir, partículas con carga negativa. Los metales están formados por átomos repletos de electrones que pueden moverse fácilmente. Por este motivo, la corriente circula bien por el cobre y el hierro, que se definen como conductores. Imaginemos que tenemos una batería y una lámpara y lo conectamos todo con cable eléctrico. Del polo positivo de la batería surgirán cargas eléctricas, desplazándose a lo largo del cable y encendiendo la lámpara, para posteriormente regresar al punto de partida, en el polo negativo. El cable puede compararse con una tubería y los electrones con las moléculas de agua que circulan por ella. El polo positivo de la batería puede ser sustituido por un grifo y el polo negativo por el desagüe en el cual termina el agua al finalizar su recorrido.

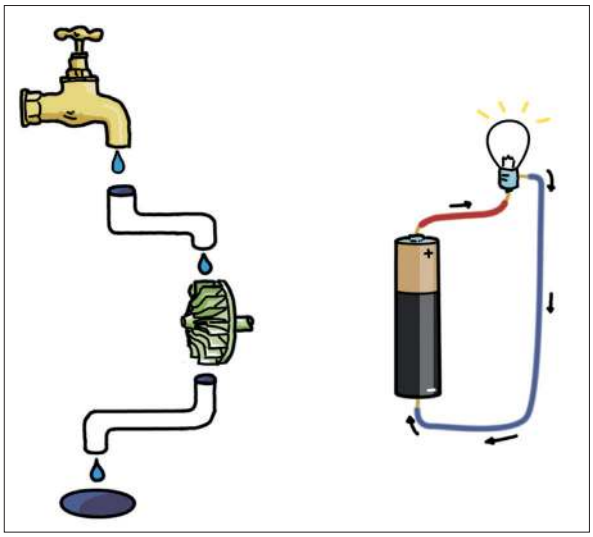


Figura 1.6 - El agua y los electrones se comportan (a veces) de forma muy parecida.

La corriente tiene una dirección, indicada también con el término **polaridad**, porque las cargas circulan siempre del polo positivo al negativo. El primero que presentó esta idea fue Benjamin Franklin, quien no tenía los instrumentos ni los conocimientos físicos necesarios para darse cuenta de que, en realidad, la corriente era producida por los electrones con carga negativa y no por las hipotéticas partículas positivas. Franklin describió simplemente lo que podía observar con sus propios ojos. Hemos permanecido siempre vinculados a esta convención, si bien en realidad los electrones se mueven del polo negativo al positivo. El polo positivo habitualmente se indica con el signo + o con color rojo, mientras que el polo negativo se indica con el signo - o con color negro. ¿Cómo se mide la corriente? Medir el flujo de un conducto es bastante sencillo: necesitamos un cronómetro y un contador para medir los litros de agua que salen de la tubería. El flujo depende del diámetro del tubo y de la velocidad del agua, y es igual al número de litros que atraviesan la sección de la tubería por segundo. Podrían pasar diez, cien o mil litros por segundo. Para medir la corriente se procede de un modo parecido, solo que, en lugar de medir litros de agua, debemos contar las cargas eléctricas o la cantidad de electrones que pasan por un cable eléctrico en un segundo (o mejor dicho, por una sección del cable).

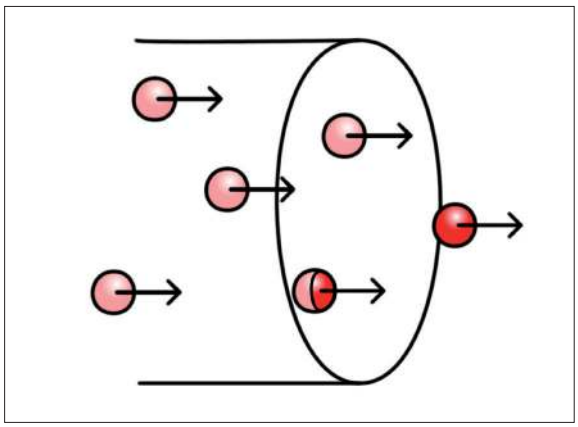


Figura 1.7 - La corriente se mide contando el número de cargas que atraviesan la sección de un cable por segundo.

La unidad de medida de la corriente es el **amperio**, que viene también del nombre de su descubridor, el físico francés André-Marie Ampère (1775-1836). El símbolo del amperio es una A y en las fórmulas la corriente se indica normalmente con la letra I. Cuando las corrientes son pequeñas, se pueden expresar en miliamperios (mA), y si son muy pequeñas, como las corrientes interceptadas por las radios, también en microamperios (μA). Un miliamperio es igual a 0,001 amperios y un microamperio es igual a 0,000001 amperios.

Figura 1.8 - André-Marie Ampère (1775-1836).

Ríos como el Po o el Nilo, por los cuales circulan enormes cantidades de agua por segundo, se pueden comparar con grandes conductos eléctricos, también denominados *líneas eléctricas*, que desde las centrales eléctricas llegan hasta las ciudades. Un río como el Ticino o el Lambro podría compararse con el cable por el cual pasa la corriente necesaria para mover un tranvía de la ATM[1]. La manguera de los bomberos podría compararse con el cable que hace funcionar una gran máquina, como una prensa o un torno industrial. Y el grifo de casa podría compararse con el cable que va desde la toma de pared hasta nuestra tostadora.

Tabla 1.1 – ¿Cuánta corriente se necesita?

tren o tranvía	100 ÷ 500 A
horno	10 ÷ 20 A
batidora	1 A
lector mp3	0,1 A

La corriente eléctrica se mide con un amperímetro, que, a diferencia de lo que hemos visto, no mide el número de electrones que pasan por un cable, sino que utiliza un sistema distinto, aunque muy eficaz. El clásico amperímetro es un instrumento electromecánico dotado de una lanceta y una escala graduada y se encuentra normalmente en los cuadros eléctricos industriales. Para nuestras medidas, utilizaremos un multímetro o tester, un instrumento que puede ejecutar distintos tipos de medidas eléctricas, entre las cuales la de corriente.

1 Azienda Trasporti Milanesi.S.p.A. (Empresa de transportes de Milán)

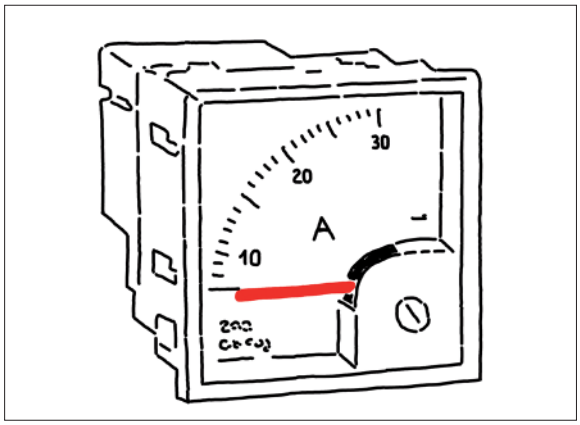


Figura 1.9 - Amperímetro con lanceta.

Corriente alterna y continua

La corriente que utilizaremos en nuestros circuitos es de tipo continuo: su valor se mantiene constante en el tiempo. Es la corriente que puede proporcionar una batería o un alimentador. En los libros ingleses se indica también con las letras DC (*Direct Current*). La corriente alterna es una corriente que varía periódicamente en el tiempo: circula en una dirección y, después, en la dirección opuesta. Volviendo una vez más a la analogía del agua, es como si tuviéramos una bomba rotativa que empuja el agua, dentro de una tubería, en una dirección y en otra.

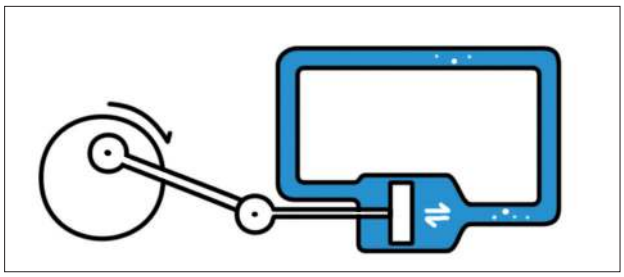


Figura 1.10 - Analogía hidráulica para la corriente alterna: una bomba de pistón empuja el agua en un sentido y en otro, periódicamente.

La corriente que llega a nuestras casas es de este tipo y fue utilizada por primera vez por el genial Nikola Tesla. A finales de 1800, las primeras empresas de distribución eléctrica decidieron utilizar este tipo de corriente porque es más fácil de distribuir y es menos peligrosa que la corriente continua, si bien tiene un voltaje elevado. La corriente alterna que encontramos en las tomas de corriente domésticas tiene un valor que varía cíclicamente en el tiempo, pasando de valores negativos a positivos, y se indica con las letras AC (*Alternate Current*). En Europa cumple cincuenta ciclos por segundo (50

hercios), mientras que en los Estados Unidos y en otros estados de América del Sur cumple los sesenta ciclos por segundo. La corriente alterna no se puede almacenar, a diferencia de la corriente continua, y origina una serie de fenómenos secundarios que la hacen un poco más complicada de tratar: se necesitan ciertos conocimientos matemáticos y un poco más de experiencia. En este libro no la trataremos, pero si os interesa profundizar en este tema, os aconsejo que consultéis un libro de electrotécnica.

Tamaños y multiplicadores: números de ingenieros

En electrónica se utilizan números muy variados; en una misma fórmula podemos tener tamaños enormes combinados con otros microscópicos. Para realizar cálculos, deberíamos utilizar números con muchísimos ceros. Para evitar escribir cada vez todos estos números deberíamos utilizar la notación exponencial con base diez: un tema para ingenieros y científicos que a cualquiera de nosotros podría provocarnos dolor de estómago. Por ejemplo, el número 100 podría escribirse como 10·10 o bien con la forma 10^2 (diez elevado a dos). 1.000 se convierte en 10·10·10 que se escribe como 10^3 (diez elevado a tres). 200 pasa a ser $2 \cdot 10^2$. Los números con coma pueden escribirse así:

$0{,}1 = 10^{-1}$
$0{,}01 = 10^{-2}$
$0{,}003 = 3 \cdot 10^{-3}$

Aunque esta manera de expresar los números es un poco extraña, ayuda muchísimo en los cálculos, porque no debemos indicar todos los ceros y porque los exponentes tienen interesantes propiedades, entre las cuales la que reza que si dos números tienen la misma base (el diez) y se insertan en la misma multiplicación, sus exponentes pueden ser sumados:

$$0{,}002 \cdot 470.000 = (2 \cdot 10^{-3}) \times (4{,}7 \cdot 10^5) = 9{,}4 \cdot 10^{(-3+5)} = 9{,}4 \cdot 10^2 = 9{,}4 \cdot 100 = 940$$

En una división, los coeficientes de números con la misma base se pueden restar:

$$\frac{220.000}{2000} = \frac{2{,}2 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^3} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{(5-3)}}{2} = 1{,}1 \cdot 10^2 = 110$$

Del ejemplo anterior, podemos entender que si un número con exponente se encuentra en el denominador de una fracción, puede ser colocado en el numerador cambiándole el signo al exponente:

$$\frac{1}{10^{-3}} = 1 \cdot 10^3$$

Para hacerlo todavía más sencillo, los electrónicos decidieron eliminar también los exponentes y utilizar abreviaturas. En los libros y artículos de electrónica podemos encontrarnos con siglas como las siguientes:

$1m = 0{,}001 = 1 \cdot 10^{-3}$ = un mili
$1\mu = 0{,}000001 = 1 \cdot 10^{-6}$ = un micro
$1n = 0{,}000000001 = 1 \cdot 10^{-9}$ = un nano
$1p = 0{,}000000000001 = 1 \cdot 10^{-12}$ = un pico

Para los tamaños que van más allá de la unidad tenemos:

$1k = 1.000 = 1 \cdot 10^{3}$ = un kilo
$1M = 1.000.000 = 1 \cdot 10^{6}$ = un mega

La tensión o diferencia de potencial

Muchas veces hemos formulado preguntas como estas: "¿A cuánto funciona este electrodoméstico?, A 220 V, o bien ¿Con qué baterías funciona este juguete?, Utiliza una pila de 9 V".
Recuperemos la metáfora del agua, la cual puede circular si existe un desnivel. Por razones similares, la corriente eléctrica puede circular si existe un desnivel o una **diferencia de potencial**, que es como decir que dos extremos se sitúan en alturas distintas.

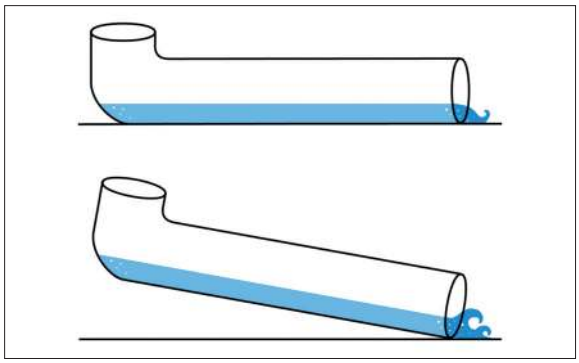


Figura 1.11 - El agua puede circular por una tubería si existe un desnivel entre sus dos extremos.

Si tomamos un tubo muy largo, lo ponemos en el suelo y lo llenamos de agua, esta saldrá por el otro extremo con poca fuerza. Ahora bien, si elevamos uno de los dos extremos, el agua saldrá con mucha más fuerza. Cuanto mayor sea el desnivel, mayor será la fuerza (o presión) a la salida del tubo. Podemos imaginarnos la tensión como el desnivel desde el cual cae el agua: es como la altura de una cascada de agua.

Supongamos que podemos acumular un cierto número de cargas positivas en un punto y colocar a cierta distancia un segundo grupo de cargas negativas. Entre ambos grupos de cargas se crea un campo eléctrico, del mismo modo que, si pusiéramos una pequeña carga positiva en este campo, esta se desplazaría hacia el grupo con signo negativo modificando su energía. Una carga eléctrica, quieta en un campo eléctrico, posee un determinado nivel de energía potencial solo por el hecho de estar en un punto preciso y de permanecer quieta en él. La energía potencial depende únicamente de la posición, de nada más (por eso se asemeja a la altura a la cual ponemos el tubo con el agua). El voltaje se obtiene dividiendo la energía potencial entre la cantidad de carga de la partícula y expresa la cantidad de energía necesaria para desplazarla. Se habla de diferencia de potencial porque resulta difícil realizar medidas absolutas y es más fácil hacer comparaciones y proporcionar medidas relativas.
La unidad de medida de la tensión es el **voltio**, del nombre del conde y científico Alessandro Volta (1745–1827), famoso también por ser el inventor de la pila y descubrir el metano.

Figura 1.12 - Alessandro Volta (1745–1827).

Las diferencias de potencial se miden con un voltímetro. Existen voltímetros electromecánicos con galvanómetro, que, normalmente, se encuentran en los cuadros eléctricos. Nosotros utilizaremos un práctico multímetro o tester, un instrumento que puede ejecutar distintos tipos de medidas eléctricas, entre las cuales se encuentra la de la tensión.
Si queremos utilizar un tubo muy largo para que salga el agua con cierta fuerza o cubrir distancias largas, es preciso que la diferencia de altura entre los extremos del tubo sea importante. Es lo que ocurre en las centrales eléctricas que generan

corriente de alto voltaje (incluso cientos de miles de voltios), para después introducirla en una línea de alta tensión que viaja cientos de quilómetros. Al final de la línea la tensión se reduce con un transformador antes de ser transportada hasta las casas o las fábricas.

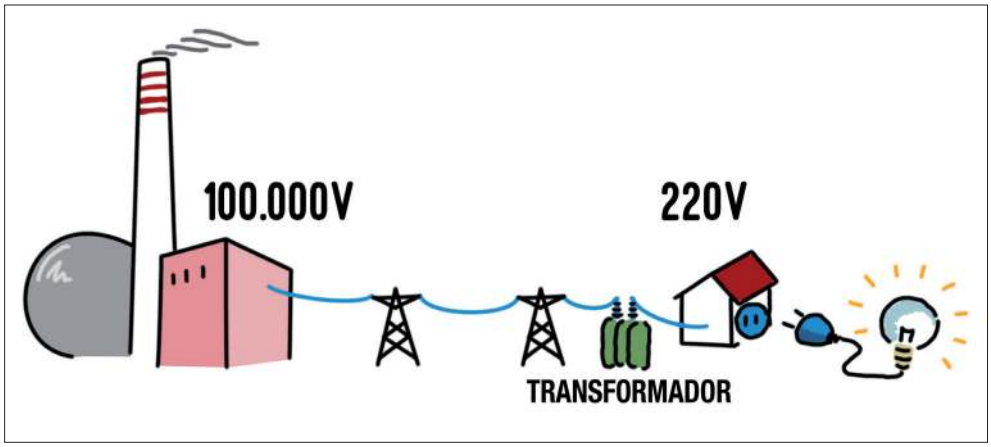


Figura 1.13 – Para recorrer grandes distancias es preciso que la tensión sea muy elevada.

La tensión de la corriente que llega a nuestras casas y que utilizan la mayor parte de los electrodomésticos es de unos 220 voltios. Los pequeños electrodomésticos utilizan tensiones inferiores, de 12 o 15 voltios. En los cables USB que conectamos a nuestro ordenador tenemos 5 voltios. Las diferencias de potencial elevadas son muy peligrosas (aunque por norma general cuenta la combinación de corriente y tensión), porque las tensiones elevadas pueden superar obstáculos e, incluso, perforar capas de aislante: pensemos en los rayos que atraviesan miles de metros de aire para acabar en el suelo.

Para evitar que un circuito quede dañado, y que nosotros mismos nos hagamos daño, es necesario comprobar que:

- la tensión sea correcta;
- exista suficiente corriente.

La alimentación de un circuito la proporciona un generador, término mediante el cual se designa un alimentador, una batería o cualquier cosa capaz de proporcionar corriente o tensión. La tensión que proporciona el generador y la que necesita el circuito deben coincidir. Supongamos que el alimentador sea una pequeña cascada de agua y el circuito, un pequeño molino. Si la rueda del molino es demasiado grande, la cascada no conseguirá llenar la rueda del molino y hacer que se mueva. En cambio,

si la cascada es demasiado alta y la rueda del molino es muy pequeña, la caída del agua dañará o destruirá por completo la rueda.

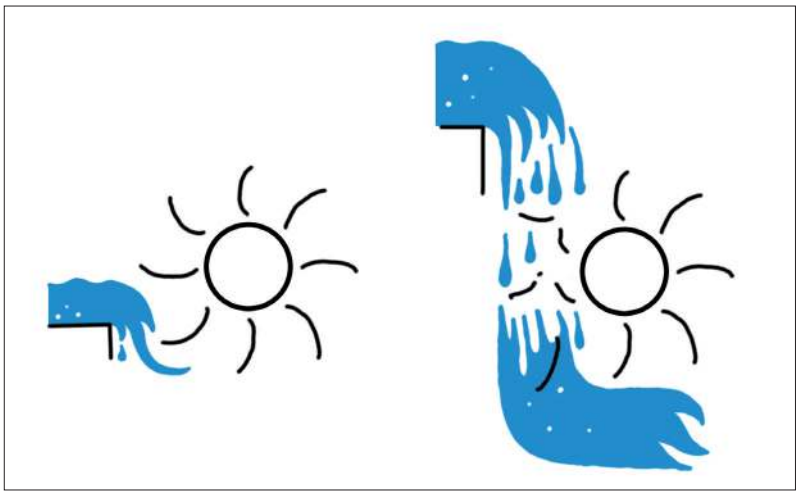


Figura 1.14 - Para hacer rodar la rueda del molino, la cascada debe tener la altura adecuada.

Si la tensión del alimentador es inferior a la tensión que necesita el circuito, este no funcionará. Si intentamos alimentar un dispositivo eléctrico que necesita tres pilas de 1,5 voltios con una única pila, difícilmente el dispositivo dará señales de vida. Si conectáramos el dispositivo a cuatro o cinco pilas, seguramente lo quemaríamos.

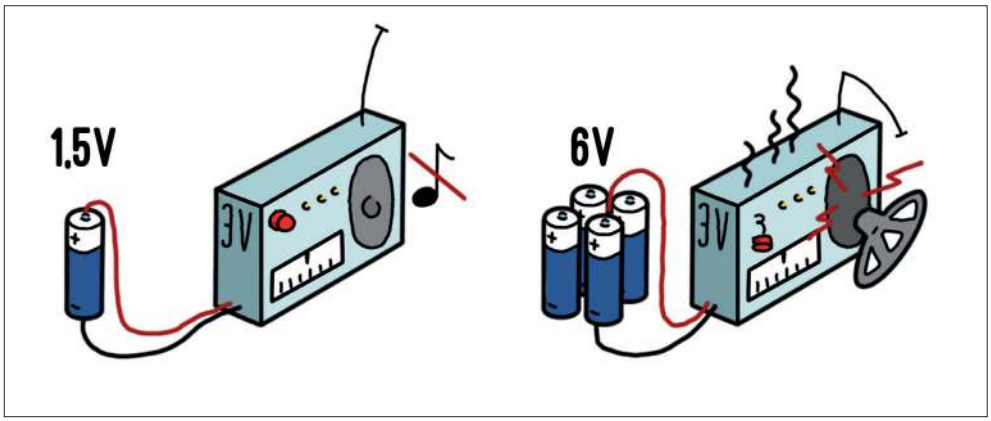


Figura 1.15 – Para funcionar, cada dispositivo necesita una tensión adecuada.

Todo circuito consume una cantidad determinada de corriente. Si le proporcionamos poca corriente, el circuito no funcionará o se encenderá de modo incorrecto. Imaginemos que estamos en la orilla del Po. Por este río circula una gran cantidad de agua. Sumergimos un tubo en el río y sacamos agua para hacer girar nuestro molino. ¿Qué ocurrirá? El tubo se llenará con el agua suficiente para hacer trabajar la rueda del molino.

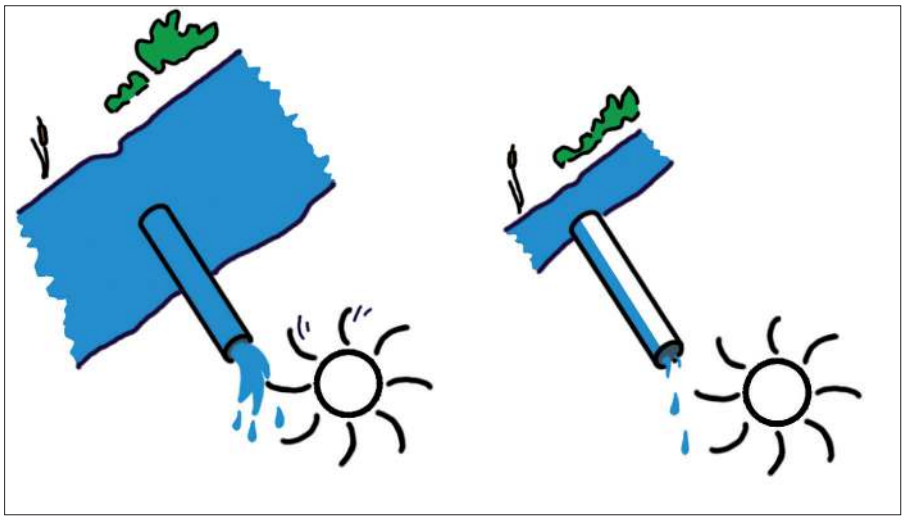


Figura 1.16 – Un río con una gran capacidad puede proporcionar toda el agua necesaria.

Ahora imaginemos que estamos en la orilla de una pequeña y pobre acequia de la región de la Bassa Lodigiana. Si los mosquitos nos lo permiten, intentamos sumergir el tubo en el agua, el cual, ahora, será difícil que se llene y la rueda del molino no rodará. En mi laboratorio tengo un alimentador regulable en el cual puedo ajustar la tensión o la corriente según mis necesidades. Para encender un circuito que funciona a 5 voltios y que necesita un amperio de corriente, debo ajustar la regulación del voltaje exactamente a 5 voltios (o un poco menos). Si aumentase la tensión hasta 7 voltios, el circuito se quemaría (¡no lo hagáis!). El alimentador cuenta también con un regulador para la corriente. Si la corriente se ajusta a 0 amperios, el circuito está apagado, aunque la tensión sea correcta, porque no le llega corriente. Es como si hubiera metido mi tubo en un torrente sin agua. Aumentando la corriente hasta 0,5 amperios, el circuito podría ponerse en marcha y encenderse. Algunos dispositivos podrían funcionar de forma incorrecta o incluso dañarse. Ajustando la corriente a un amperio, el circuito funcionará bien. ¿Qué ocurriría si aumentáramos la corriente hasta 15 amperios? ¿Explosionaría todo? ¡No! Es como si hubiera sumergido mi tubo en el Po: el tubo se llena por completo y el molino tiene toda el agua que necesita.

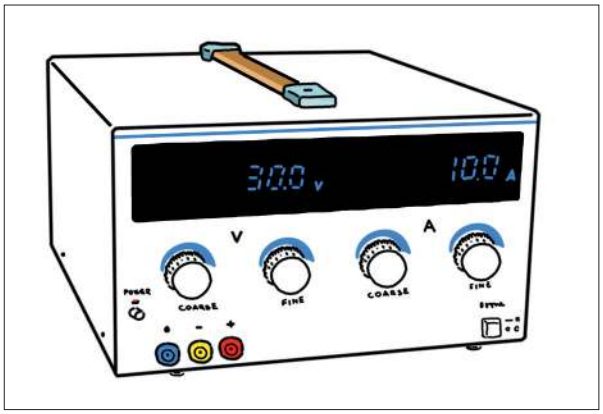


Figura 1.17 - Los alimentadores de laboratorio pueden regular corriente y tensión.

Potencia

Para hacer mover cualquier cosa es necesario proporcionar energía, así como para desplazar cosas minúsculas como los electrones. El desplazamiento puede llevarse a cabo en momentos distintos: un segundo, una hora o un año. Cuanto más rápido sea el movimiento, mayor será la potencia. Mi viejo libro de física, en una página amarillenta, muestra una fórmula que dice que la potencia es igual a la cantidad de energía dividida entre el tiempo: una acción será más potente cuanto más rápidamente se realice.
La potencia eléctrica se mide en vatios (cuyo símbolo es W), en honor a James Watt, que en 1800 se deleitaba con máquinas de vapor, caballos y otras diabluras, midiendo tiempos y energías. La potencia eléctrica para los circuitos eléctricos se puede calcular multiplicando la tensión medida entre los terminales de un dipolo por la corriente que lo atraviesa.

$$P = V \cdot I$$

Tenemos un circuito alimentado con una pila de 9 voltios. La corriente que circula por el circuito es de 0,1 A y la potencia absorbida será igual a:

$$P = 9 \cdot 0,1 = 0,9\,W$$

La fórmula se comporta correctamente con las corrientes continuas, pero podría dar valores no del todo correctos si la utilizáramos con corriente alterna, para la cual se utiliza una fórmula más compleja (que no trataremos).
Aunque el resultado sería aproximado, podríamos usar la fórmula de la potencia para saber la corriente que absorbe un electrodoméstico. Si en la placa de un secador leemos 1.000 W y la alimentación es la de red, a 220 V, podríamos dar con la corriente absorbida:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1000}{220} = 4{,}54 \text{ A}$$

Tiempos y frecuencias

Otra de las variables importantes que utilizaremos con los circuitos electrónicos es el tiempo. En ocasiones no se habla de tiempo, sino de **frecuencia**, es decir, del número de eventos o de ciclos que se producen en un segundo. Si golpeamos un tambor con una baqueta cuatro veces en un segundo, estamos produciendo un sonido a 4 hercios. Por lo tanto, los golpes están separados uno de otro por un tiempo de:

$$t = \frac{1\,\text{s}}{4\ \text{golpes}} = 0{,}25\ \text{s}$$

La fórmula para calcular la frecuencia es:

$$f = \frac{1}{T}$$

La letra T indica el **periodo**, es decir, la duración total de un evento que se repite. Para una corriente alterna, el periodo es el tiempo necesario para que la corriente cumpla un ciclo completo, partiendo de 0, llegando al máximo, bajando hasta el valor mínimo y regresando a 0.

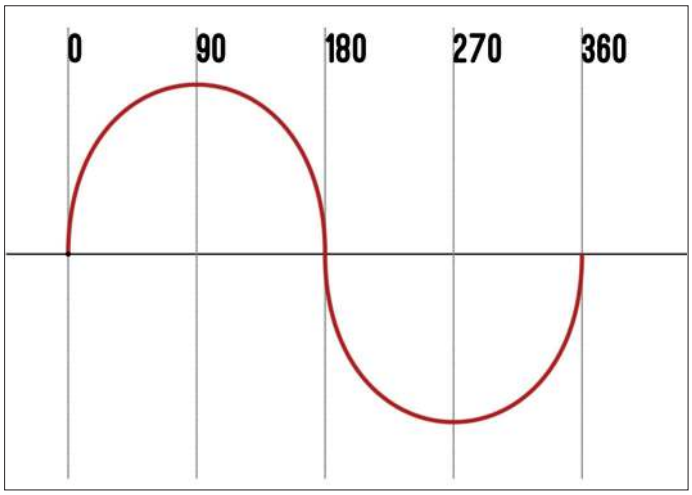


Figura 1.18 – El periodo es el tiempo necesario para cumplir un ciclo completo.

Tenemos claro que a los electrónicos no les gustan los números con muchas comas ni muchos ceros y que son bastante perezosos. Es por ello que prefieren hablar de hercios (Hz) en lugar de eventos que ocurren cada 0,00000012 s.
Las corrientes continuas tienen una frecuencia de 0 Hz, porque no cambian nunca.

Anillos de tensión y nodos de corriente

Veamos ahora algunas características respecto al comportamiento de tensiones y corrientes que nos serán muy útiles para entender el funcionamiento de los circuitos electrónicos. Conectamos entre sí los terminales (también llamados **reóforos**) de unos dipolos. Los terminales están unidos por un nodo, que es un punto muy especial para los fenómenos eléctricos. Recurramos a nuestra analogía habitual: una conexión hidráulica está formada por distintos tubos que se conectan en un único punto. En este caso, si por un tubo llega agua, esta se esparce por los otros tubos. Si el agua llegara desde más tubos, se equilibraría por sí misma, distribuyéndose e intentando salir de los tubos disponibles. Lo que no podría ocurrir nunca es que el agua fluyera de todos los tubos: ¿desde dónde llegaría? ¡El agua no puede materializarse de la nada! La situación contraria, es decir, que el agua llegara de todos los tubos, también sería un problema.

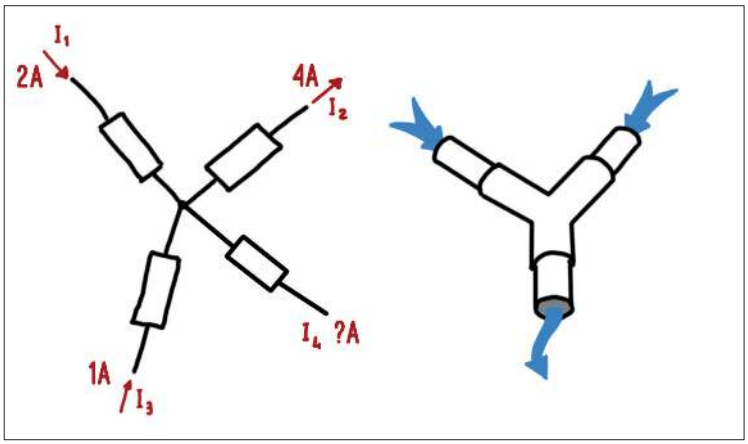


Figura 1.19 – La suma de las corrientes en un nodo siempre es igual a cero.

Podemos observar el mismo comportamiento en las corrientes: en un nodo pueden entrar o salir distintas corrientes, lo importante es que, si entra una cantidad determinada de corriente, la misma cantidad sea la que salga. En un nodo llegan cuatro cables o hilos por los cuales fluyen las corrientes: i_1, i_2, i_3, i_4. Una regla sería: la corriente que entra en el nodo es de signo positivo, mientras que si sale, el signo es negativo. La suma de todas las corrientes en el nodo siempre debe ser igual a cero.

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$$

Esta fórmula se denomina **Ley de corrientes de Kirchhoff**. Si las corrientes de la figura 1.19 valen:

$$\begin{cases} i_1 = 2\,A \\ i_2 = -4\,A \\ i_3 = 1\,A \end{cases}$$

i_4 se calculará del siguiente modo:

$$2 - 4 + 1 + i_4 = 0$$
$$3 - 4 + i_4 = 0$$
$$-1 + i_4 = 0$$
$$i_4 = 1$$

La corriente i_4 es de signo positivo y, por tanto, según la regla que hemos establecido, será entrante en el nodo.
Un circuito es una red de componentes dónde podemos identificar mallas, es decir, anillos. Un anillo está formado por un camino cerrado que podemos recorrer caminando solo por los elementos del circuito: cables y componentes. Un circuito contiene varios anillos, los cuales tienen partes en común.

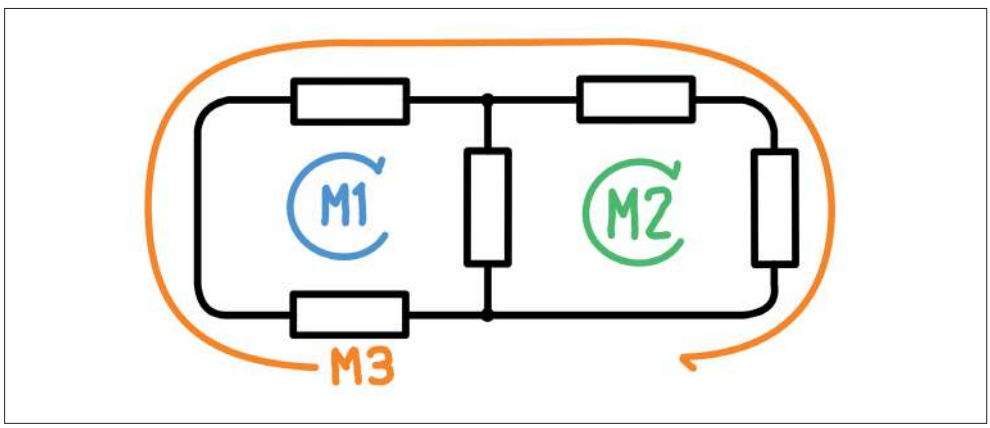


Figura 1.20 – El circuito de la figura tiene tres mallas.

La tensión en los extremos de un dipolo se puede indicar con una flecha que ayuda a identificar la polaridad, porque su punta señala el polo positivo. También podríamos medir esta tensión con un tester o un multímetro, aunque solo podremos leer algo si el componente se encuentra en un circuito y está alimentado. A menudo no se conoce el sentido de la tensión (es decir, por qué parte es positivo y por cuál, negativo), por lo que podemos sencillamente dibujar las flechas sobre los dipolos en el sentido que queramos. Si, tras haber efectuado los cálculos, resulta que la tensión tiene un valor negativo, será suficiente con girar el sentido de la flecha.

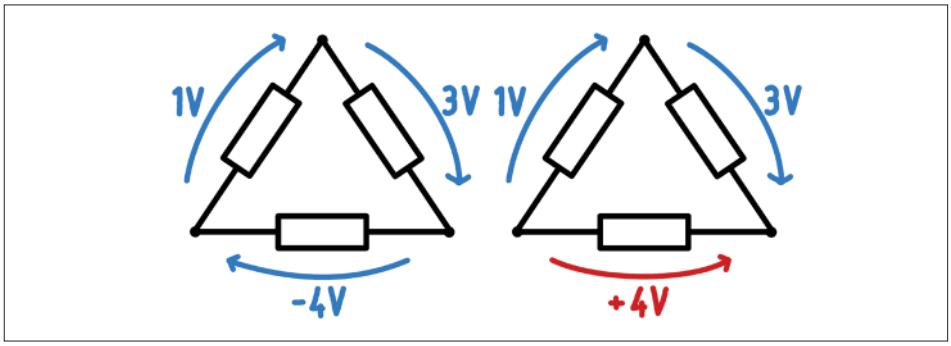


Figura 1.21 – En la primera figura, hemos dibujado primero las flechas de color azul y después hemos hecho los cálculos. De ellos se desprende que la tensión en el dipolo número tres es negativa. En la segunda figura hemos redibujado la flecha en el tercer dipolo orientada correctamente.

Existe una versión del **Teorema de tensiones de Kirchhoff**: si sumamos las diferencias de potencial de los lados de un anillo cualquiera, veremos que su suma es igual a cero. Esta regla vale para cualquier anillo del circuito y, de hecho, es más o menos como resolver un sudoku.

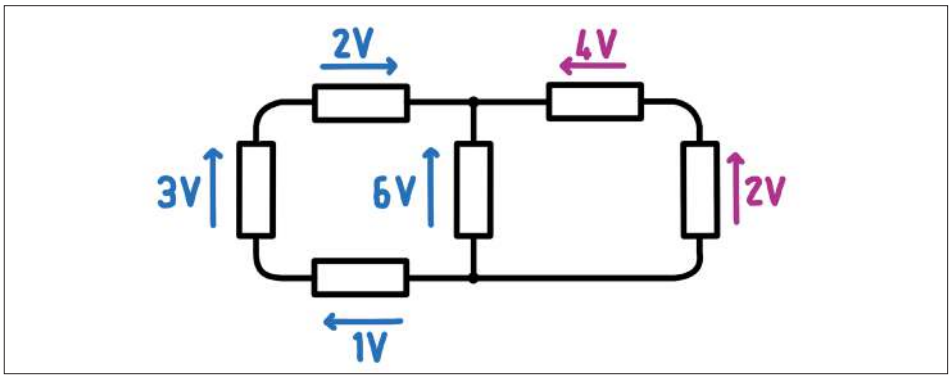


Figura 1.22 – En este circuito se han calculado las tensiones de cada dipolo. La suma de las tensiones de cada posible anillo es siempre igual a cero.

En el circuito dibujado en la figura 1.22 ya se han calculado las tensiones para cada dipolo. Así, podemos comprobar fácilmente que, en tres posibles anillos del circuito, la suma de las tensiones siempre es igual a cero.

La ley de Ohm

Ahora que ya sabemos los conceptos fundamentales de corriente y tensión, vamos a intentar ponerlos en práctica estudiando un simple circuito compuesto por un resistor, un led y una batería de 9 voltios. Más adelante trataremos estos componentes. De momento, necesitamos saber que:

- el resistor es un componente que reduce la corriente que circula en un circuito;
- el resistor obstaculiza el paso de la corriente, así como un tubo con una constricción obstaculiza el paso del agua;
- un led es una especie de lámpara;
- el led tiene polaridad, por lo que, si lo conectamos al revés, no se encenderá;
- el led se alimenta con una tensión de unos 2 voltios y una corriente entre los 10 y los 20 mA;
- si no respetamos los valores de tensión y corriente para el led, corremos el riesgo de dañarlo.

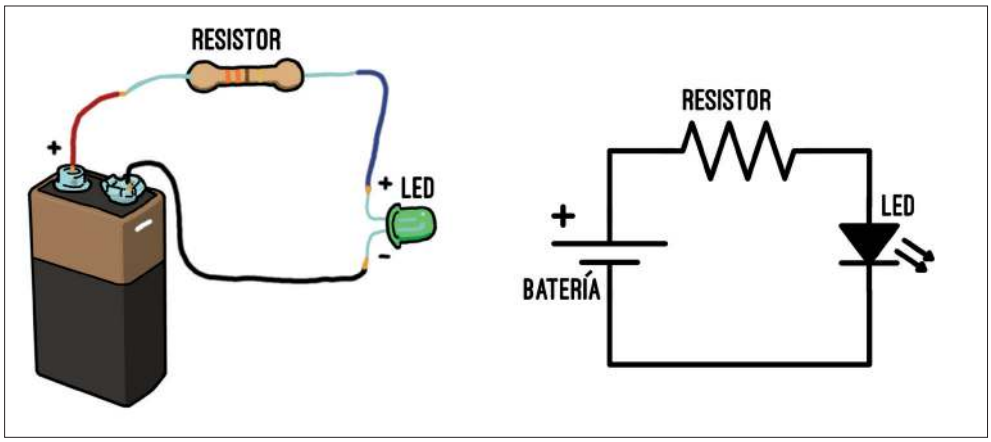


Figura 1.23 – El esquema del sencillo circuito que queremos calcular.

La pregunta que muchos se hacen cuando tienen un led entre las manos es: "¿Qué resistencia le pongo para no quemarlo?".
Seguidamente, veamos cómo calcular la resistencia adecuada utilizando la ley de Ohm y algunas observaciones sencillas. Si conectáramos directamente el led a la batería de

9 voltios, este se encendería un instante y, después, se quemaría. El led necesita unos 2 voltios y nosotros lo hemos conectado a una batería de 9 voltios: ¡demasiados! Para encender correctamente el led, necesitamos una resistencia que hará que sobre el componente se produzca una caída de tensión de 2 voltios. Para nuestro experimento utilizaremos una batería de 9 voltios con un clip. La batería debe poder proporcionar al menos 10 miliamperios, si no el led no se encenderá, aunque esto no supone ningún problema porque una batería de 9 voltios puede proporcionar corrientes mucho mayores.

Ya hemos visto que el voltaje se puede comparar con la altura de una cascada por la que cae agua. Podemos imaginarnos la batería de 9 voltios como una cascada de 9 metros de altura y el led, como la rueda de un molino de dos metros de diámetro: se necesitará como máximo una cascada de dos metros de altura. Si situáramos el molino debajo de la cascada de 9 metros, lo destruiríamos. La resistencia sirve en este caso para romper la caída del agua de la cascada desde los 9 metros de altura. Por lo tanto, sobre la resistencia habrá una cascada de siete metros de altura.

Ahora, debemos sustituir las cascadas por las tensiones que podemos representar con flechas: por una parte, tenemos la flecha roja con los 9 voltios de la batería, juntamente con las flechas azules de los usuarios, es decir, de la resistencia y el led. Como hemos visto, la suma de las tensiones a lo largo del anillo siempre debe ser igual a cero (Kirchhoff).

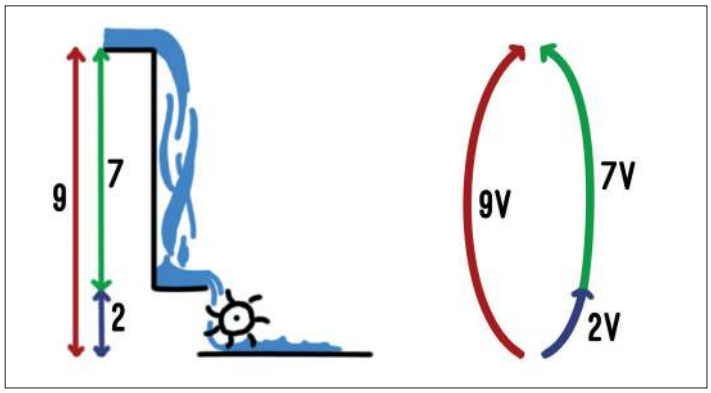


Figura 1.24 – Las tensiones están dibujadas como cascadas de agua: para no dañar el led, debemos romper la caída del agua.

En términos de voltaje, podemos observar que:

- la batería proporciona 9 voltios;
- el led necesita como máximo 2 voltios;
- la resistencia sirve para romper el voltaje y adaptarlo al led;
- la resistencia puede soportar una tensión de 7 voltios sin dañarse.

Probemos a sumar las tensiones. Las tensiones pueden tener signo positivo o negativo, nosotros decidimos la regla. Podemos decir que, si recorremos el anillo en sentido horario, las tensiones que concuerdan con la rotación tienen el signo + y las que son distintas tienen el signo -.

$$V_{batería} - V_{resistencia} - V_{led} = 0$$

Que podemos rescribir así:

$$V_{batería} = V_{resistencia} + V_{led}$$

Ahora que conocemos algunos de los valores, los podemos sustituir en la fórmula:

$$9 = V_{resistencia} + 2$$
$$V_{resistencia} + 2 = 9$$
$$V_{resistencia} = 9 - 2 = 7$$

El resultado es igual a la tensión que queremos encontrar en los extremos de la resistencia. Ahora calculamos la corriente: en el circuito deben circular 20 mA, porque son los que necesita el led. La batería puede proporcionar cientos de miliamperios, pero el led y la resistencia crearán unas condiciones según las cuales solo circule la corriente necesaria. Seguidamente centrémonos en la resistencia: tenemos 7 voltios en sus extremos y la atraviesa una corriente de 20 mA.
La ley de Ohm, que relaciona los valores de tensión, corriente y resistencia, se escribe así:

$$V = I \cdot R$$

donde V indica la tensión, I la corriente y R la resistencia. También se puede escribir de las siguientes formas:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{V}{I}$$

Para calcular la resistencia para nuestro circuito, insertamos los valores en la fórmula:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{7\,V}{20\,mA} = \frac{7\,V}{0{,}020\,A} = 350\,\Omega$$

La resistencia correcta tiene un valor de 350 Ω. En el mercado no existen resistencias de 350 Ω porque se fabrican solo con unos valores determinados. El valor de resistencia que se acerca más es 390 Ω.
Ahora vamos a calcular la potencia consumida por la resistencia. Hemos visto que la potencia es igual a la tensión por la corriente:

$$P_{res} = V \cdot I$$

La ley de Ohm dice que:

$$V = I \cdot R$$

Por lo que la potencia puede escribirse como sigue:

$$P_{res} = V \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$$

Si sustituimos en la fórmula los valores que conocemos:

$$P_{res} = (0{,}020)^2 \cdot 390 = 0{,}156\,W$$

En el mercado existen distintos modelos de resistencia capaces de soportar diferentes potencias. En este caso, bastará una resistencia común de 1/4 de vatio, es decir, de 0,25 vatios. Si hubiéramos elegido una resistencia de potencia inferior, habríamos podido sufrir un sobrecalentamiento del componente... ¡o incluso podría haberse quemado!

Medidas eléctricas

Los fenómenos eléctricos son invisibles. No podemos ver los electrones que circulan por un cable metálico. Y también es imposible contarlos de manera efectiva. A pesar de estas dificultades, podemos medir corrientes y tensiones detectando efectos secundarios, como los campos electromagnéticos, provocados por el movimiento de las corrientes. Ya hemos visto que para medir corrientes y tensiones deberían utilizarse voltímetros o amperímetros, aunque es mucho más práctico utilizar un tester o multímetro, es decir, un instrumento capaz de medir distintas magnitudes eléctricas. Los tester tienen una pantalla numérica o una aguja, un selector rotativo y tres o cuatro orificios para insertar sondas, es decir, un par de lápices con la punta de metal, conectadas a unos cables. Las sondas son siempre una roja y una negra, que son los colores convencionales que corresponden al positivo (rojo) y al negativo (negro).

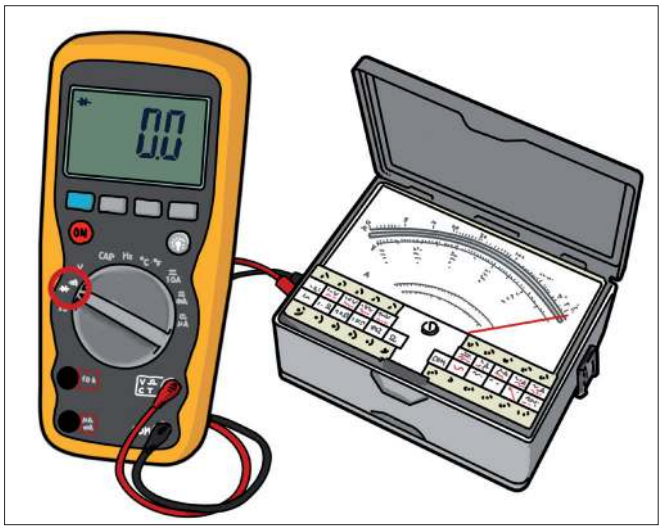


Figura 1.25 - Un multímetro digital moderno y un tester analógico de aguja.

Se pueden adquirir instrumentos a buen precio que miden solo tensión, corriente y resistencia por menos de diez euros, así como modelos más complicados y caros que pueden medir también capacidad, frecuencia, inductancia, transistor, diodos y temperaturas. Todavía se pueden encontrar modelos de aguja que pueden intimidar un poco, porque a menudo presentan muchas escalas de medida superpuestas y varios orificios (bujes) en los cuales se insertan las sondas. En realidad, los distintos modelos tienen una serie de características comunes y, cuando se aprende a utilizar uno, el resto no presenta ninguna dificultad. Todos los modelos tienen un buje con el texto COM que significa **común**. En este orificio se conecta siempre la sonda negra, la del polo negativo. Tenemos también un orificio con el texto V/OHM para medir tensiones y resistencias, y uno o más orificios para la corriente, normalmente identificados con mA y A. Las entradas para las corrientes están separadas, porque las medidas de una determinada entidad requieren una protección especial para el usuario y para los circuitos del tester. Las corrientes que utilizaremos en nuestros experimentos llegarán como máximo a unos pocos cientos de miliamperios.

El instrumento está dotado de un selector giratorio para ajustar el tipo de medida y el flujo (o la precisión). El selector está dividido en sectores. En el sector para los voltajes tenemos distintos ajustes, por ejemplo, los siguientes: 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V. Los instrumentos modernos y más costosos se adaptan solos a las magnitudes que se desea medir. Si quisiéramos medir una tensión de 10 voltios con el instrumento ajustado a 2 voltios, no dañaríamos el tester, pero la lectura se hará a gran escala (en la pantalla aparece una advertencia o un texto especial). Lo mismo ocurre para medidas de corrientes y resistencias.

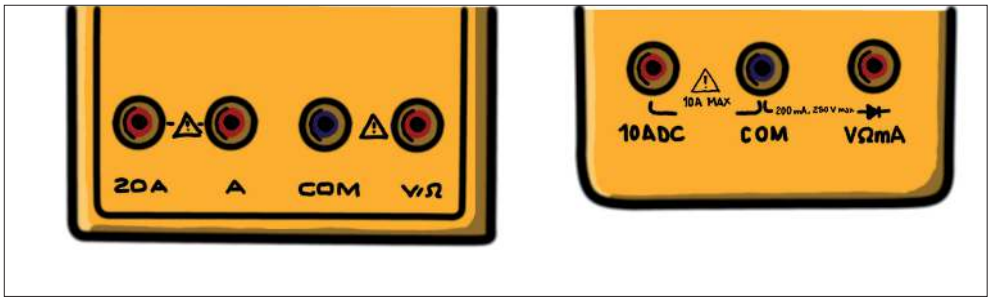


Figura 1.26 – Los multímetros tienen siempre un buje COM, un buje para las medidas de tensión y resistencia y uno o más para las medidas de corriente.

Medir tensiones

La medida de la tensión es una operación no invasiva: no es necesario modificar los circuitos para llevar a cabo una detección, sino que basta con apoyar las sondas en dos puntos del circuito para leer la diferencia de potencial.

Para medir una tensión, insertamos la sonda roja en el buje con el texto V, que significa voltaje, y la sonda negra, en el buje COM. A continuación, giramos el selector del instrumento hacia el flujo correcto. Si desconocemos la tensión que estamos midiendo, podemos partir del valor máximo e ir bajando. Es realmente importante ajustar correctamente el selector, porque en ocasiones pueden aparecer manchas debido a la tensión continua (indicadas como VDC), distintas a las de la tensión alterna (VAC). Algunos instrumentos cuentan incluso con un buje para la tensión alterna y otro para la tensión continua, por lo que debemos estar atentos a dónde insertamos la sonda. A veces, en lugar de las siglas VDC y VAC aparecen símbolos gráficos: para la corriente continua se utiliza una línea flanqueada por puntos y para la corriente alterna, una línea recta junto a una tilde ~.

Vamos a intentar medir las tensiones presentes en el circuito de la figura 1.23. El circuito utiliza una pila de 9 voltios, por lo que empezamos comprobando la tensión que encontramos en sus dos polos:

1. encendemos el tester;
2. conectamos la sonda negra en el buje COM;
3. ajustamos el tester para medir una tensión continua, girando el selector hasta VDC con un flujo mayor a 9 voltios (mi tester cuenta con 20 V);
4. conectamos la sonda roja al buje VDC;
5. apoyamos la sonda negra sobre el polo negativo de la batería;
6. con la sonda roja tocamos el polo positivo;
7. mantenemos las sondas en esta posición y leemos el número en la pantalla, que difícilmente serán 9 voltios exactos, sino un valor ligeramente inferior.

Figura 1.27 - Para medir tensiones, las sondas deben situarse en los bujes COM y V/Ω. El selector del flujo debe colocarse en V o VDC.

A continuación, intentaremos realizar otras medidas. Aún con la sonda negra sobre el polo negativo de la batería, tocamos con la sonda roja el terminal positivo del led. Deberían salir unos 2 voltios, es decir, la caída de tensión en los extremos del led. Ahora, apoyemos las sondas sobre ambos terminales del resistor. En este caso, el instrumento mostrará la caída de tensión en los extremos de la resistencia, que será aproximadamente de 7 voltios.

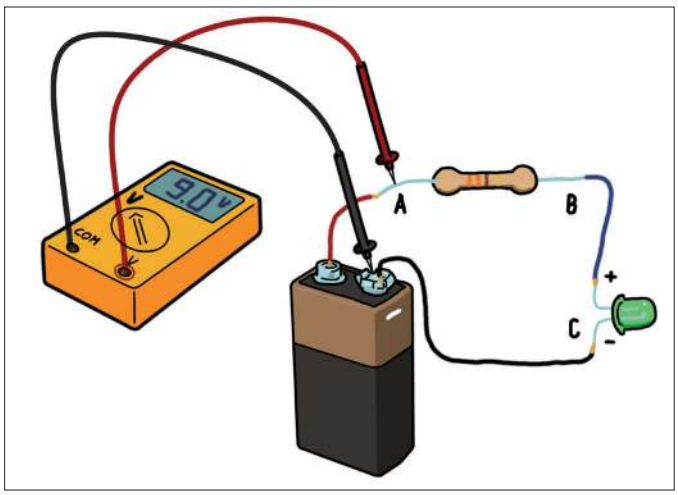


Figura 1.28 - Exploramos el circuito con el tester, midiendo las tensiones en los puntos A, B y C.

Medir corrientes

La medición de la corriente es más difícil porque hay que interrumpir el circuito para insertar las sondas del instrumento. Ya hemos visto que la corriente puede compararse con el flujo de agua de una conducción. Para medirla debemos abrir necesariamente el tubo y conectar nuestro instrumento de medición, que funciona más o menos como una especie de contador de agua con temporizador: se actualiza cada segundo mostrando la cantidad de agua pasada.

Para medir una corriente insertamos la sonda negra en el buje COM y la roja en el buje para la corriente. Debemos estar atentos porque en algunos instrumentos puede haber dos bujes, uno para corrientes bajas (indicado con la sigla mA) y otro para altas, normalmente indicada mediante textos de peligro. En estos casos, debemos usar el buje para corrientes bajas. El selector del tester debe ajustarse al flujo correcto; atención, porque para las corrientes también existen medidas para corriente alterna y continua.

Figura 1.29 - Para medir las corrientes, las sondas deben introducirse en los bujes COM y A o ADC. El selector del flujo debe ajustarse en A o ADC.

Vamos a medir la corriente que circula en el circuito de la figura 1.23. Según los cálculos que hemos hecho, para la corriente debemos encontrar un valor entre 10 y 20 miliamperios. Para medir la corriente que pasa por una rama es preciso cortar la conexión y colocar el tester. Nuestro circuito es un sencillo anillo, por lo que podemos interrumpirlo en cualquier punto:

1. encendemos el tester;
2. conectamos la sonda negra en el buje COM;

3. ajustamos el tester para medir una corriente, girando el selector hasta ADC con un flujo mayor a 20 miliamperios (por ejemplo, en mi tester tengo 200 mA);
4. conectamos la sonda roja en el buje A;
5. desconectamos el cable que toca el polo positivo de la batería;
6. con la sonda negra tocamos el polo positivo de la batería;
7. con la sonda roja tocamos el cable que estaba conectado a la batería;
8. comprobamos en la pantalla la corriente obtenida.

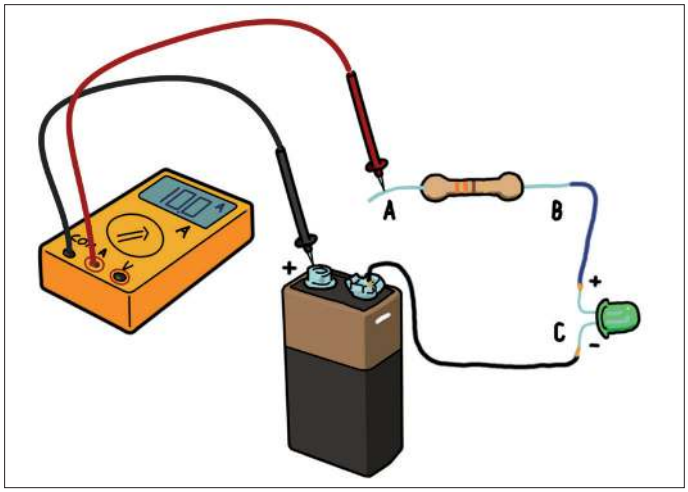


Figura 1.30 - Para medir la corriente en el circuito con led y batería, es preciso interrumpir el circuito e insertar en él el multímetro, de manera que la corriente lo atraviese.

La verdad sobre agua y corriente

En este punto, debemos realizar una precisión sobre la metáfora del agua. Imaginar que la corriente eléctrica es similar al agua que circula por un tubo simplifica mucho las cosas y ayuda a comprender, aunque este modelo hace aguas. Observemos la siguiente figura:

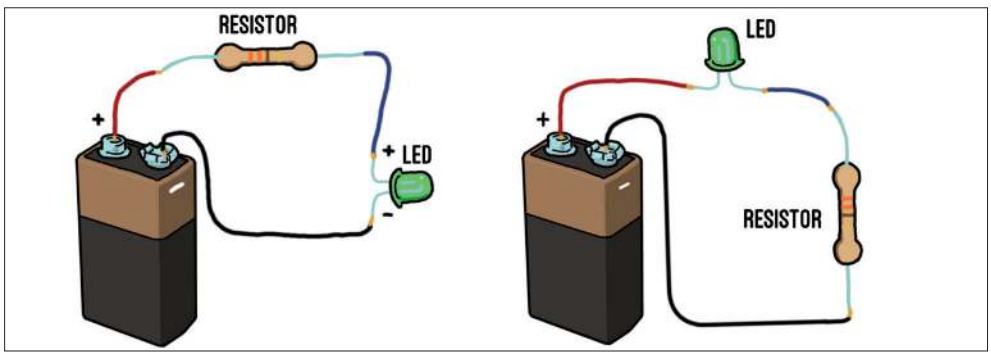


Figura 1.31 – ¿Qué diferencia hay si la resistencia se conecta por encima o por debajo del led?

En el primer caso, tenemos una batería conectada primero a una resistencia y después a un led. Si la corriente se comportara como el agua, debería salir del polo positivo y alcanzar la resistencia. La resistencia reduce el flujo de corriente que llega al led, el cual se encenderá sin quemarse. En el segundo caso, la corriente encuentra primero el led y después, la resistencia. Si utilizamos la metáfora del agua, deberíamos decir que el flujo de corriente se reducirá después de que la corriente haya atravesado el led. ¿Y el led se quemará?

En realidad, los dos casos son equivalentes desde el punto de vista de la corriente. En ambos circuitos la corriente asumirá el mismo valor. Si utilizamos una batería de 9 voltios, una resistencia de 470 Ω y asumiendo que el led necesita 2 voltios para encenderse, tendremos que:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{(9-2)}{470} = \frac{7}{470} = 0{,}0148\ A = 14{,}8\ mA$$

Las fórmulas matemáticas no hacen diferencias ante el hecho de que la resistencia se encuentre antes o después del led: simplemente tienen en cuenta el anillo por el cual circula la corriente.

De hecho, la corriente real no se comporta como algo que fluye, sino más bien como algo que ocupa un espacio. En este caso, el espacio es el anillo que constituye el circuito. Es como si la corriente valorara primero los obstáculos presentes en su recorrido.

En la mayoría de los libros de electrónica, la primera figura que se encuentra es la de un átomo formado por múltiples pequeñas esferas, que se utiliza para explicar qué son los electrones y cómo estos originan la corriente eléctrica. Esta explicación, en la cual los electrones se dibujan como bolitas, también es problemática, porque al final nos lleva hasta el defecto del modelo acuático.

La física moderna ha descubierto que, de hecho, los electrones no tienen forma de bolita. Se habla de partículas, pero en realidad tenemos campos y ondas y las cosas se complican, porque surgen una serie de fenómenos secundarios que, la mayoría de las veces, se pueden resolver pero que, en condiciones límite y, a veces, no tan extremas, se deben tener en cuenta.

En este libro, he intentado hacer las cosas más sencillas posibles y evitar términos y conceptos inútilmente complicados. El modelo del agua es muy criticado, porque dicen que presenta una forma de pecado original en la mente de quien se aproxima a la electrónica. Sin embargo, creo que son más los beneficios que los daños y que lo importante es presentar esta precisión, indicando los límites y riesgos del modelo.

2

Componentes electrónicos

Este capítulo presenta los principales tipos de componentes electrónicos que podemos encontrarnos al realizar nuestros proyectos. Para cada dispositivo encontraremos una descripción de su funcionamiento, las indicaciones para reconocerlo y cómo utilizarlo.

Los electrotécnicos utilizan el término *dipolo* para indicar un elemento electrónico genérico, un objeto con dos terminales, denominados *reóforos*, conectados a un cuerpo central. Los componentes están divididos entre pasivos y activos: los primeros son aquellos que no amplifican la amplitud de tensiones y corrientes, mientras que los segundos normalmente se alimentan y son capaces de amplificar señales. Los diodos, transistores y circuitos integrados se tratarán en los siguientes capítulos. Hemos incluido el diodo en los componentes activos, aunque no sea capaz de amplificar señales, porque su tecnología ha sentado las bases para la realización de todos los componentes activos. Cada componente tiene un símbolo que lo representa y se utiliza en el diseño de los esquemas eléctricos. En la práctica, existen cientos de miles de componentes electrónicos. Para reconocerlos sin problemas, se necesita un poco de experiencia, compensada por las convenciones adoptadas por los productores que utilizan formas, colores y códigos distintivos. A pesar de estas buenas intenciones, de vez en cuando aparece un componente misterioso, sin siglas

ni signos o con una forma inusual. Si los componentes están marcados con siglas, podemos realizar una búsqueda en Google y obtener la ficha técnica, o *datasheet*, con descripciones, gráficos, tablas, instrucciones y ejemplos de uso.
En las páginas siguientes trataremos de listar los principales tipos de componentes con las informaciones necesarias para reconocerlos y utilizarlos.

Resistores

Los resistores reducen el flujo de corriente. Imaginemos que estamos regando las flores de nuestro jardín con una manguera de goma por la cual circula agua. A un cierto punto, el flujo del agua se interrumpe. Nos volvemos y descubrimos que un amigo nuestro está pisando la manguera. El paso se encuentra obstruido y, por tanto, pasa menos agua. Los resistores son, para la corriente, como un tubo con un paso estrecho.

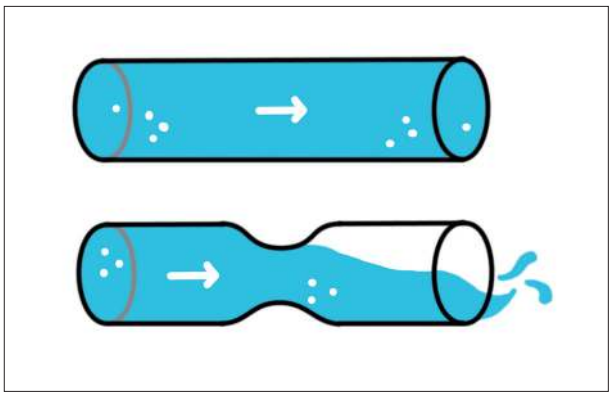


Figura 2.1 - Un resistor es, para la corriente, como un tubo para el agua con un paso estrecho.

Los resistores están hechos con materiales que ofrecen cierta resistencia al paso de la corriente. Un material resistente es, por ejemplo, el grafito, es decir, el material que se utiliza en las minas de los lápices. El telegrafista de Umberto Nobile, que se estrelló con el dirigible Italia en el Polo Norte, utilizó una de estas para reparar la radio de a bordo y pedir ayuda.
Un valor bajo de resistencia equivale a un tubo poco estrecho o a un material que no opone mucha dificultad al paso de la corriente eléctrica. Un valor elevado de resistencia se produce cuando consigue fluir poca corriente por el material. La resistencia, es decir, la dificultad con que la corriente atraviesa un material, se mide en ohmios (que se escribe con la letra griega omega Ω). La unidad de medida lleva el nombre de su descubridor, el científico alemán George Simon Alfred Ohm (1789–1854).

Figura 2.2 - George Simon Alfred Ohm (1789–1854).

El cobre es un buen conductor, porque tiene un valor de resistencia muy bajo, casi nulo: 0,0000000169 Ω por metro. También el hierro conduce la corriente, pero no tan bien como el cobre, puesto que de hecho tiene una resistencia de 0,0000000968 Ω por metro. El vidrio no conduce nada de corriente y es comparable a un tubo muy estrecho que no ofrece paso alguno. Su resistencia es de 100.000.000.000.000 Ω. Los resistores que se utilizan en los circuitos electrónicos tienen valores intermedios que van desde unos ohmios hasta millones de ohmios. El tipo más conocido de resistor se asemeja a una pequeña salchicha con los extremos hinchados y con bandas de colores que sirven para identificar su valor. Normalmente tiene cuatro bandas y una de las líneas, la que se encuentra en un extremo, es de color dorado. Para leer la resistencia, mantenemos la banda dorada a nuestra derecha y leemos las bandas de color de izquierda a derecha, utilizando la tabla de colores que muestra la figura 2.3.

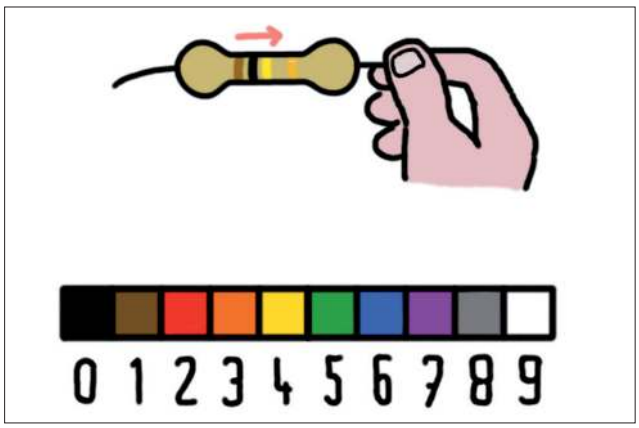


Figura 2.3 –Lectura del valor de una resistencia.

Tabla 2.1 – Códigos de color para la lectura de un resistor.

Color	Valor
Negro	0
Marrón	1
Rojo	2
Naranja	3
Amarillo	4
Verde	5
Azul	6
Morado	7
Gris	8
Blanco	9

Imaginemos que tenemos una resistencia con las bandas de color marrón, negro, amarillo y dorado:

1. Sujetamos el componente manteniendo la banda dorada a nuestra derecha.
2. Empezamos a leer las bandas de izquierda a derecha.
3. La primera banda es de color marrón.
4. Escribimos 1 en una hoja de papel.
5. La segunda banda es negra y, por lo tanto, escribimos 0.
6. La tercera banda es amarilla, por lo que escribimos 4.
7. En nuestro papel habremos escrito 1 0 4, que no es el valor de la resistencia.

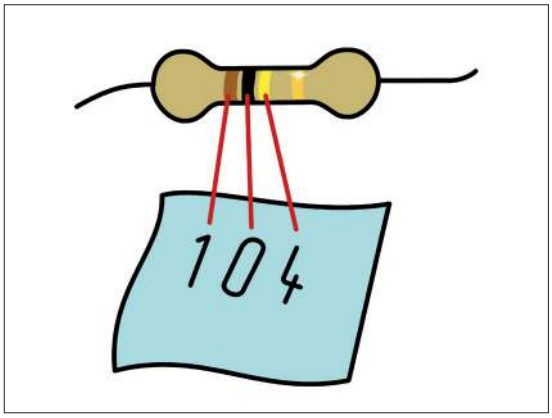


Figura 2.4 - Leemos las bandas del resistor y anotamos en un papel el código correspondiente a cada color.

8. Borramos la tercera cifra y la sustituimos por el número de ceros equivalente al valor de la cifra. Eliminamos el 4 y escribimos en su lugar cuatro ceros: 0 0 0 0.

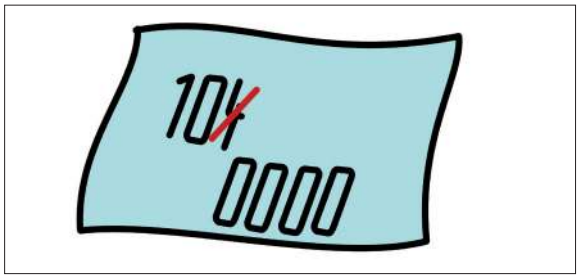


Figura 2.5 – Sustituimos la tercera cifra con el correspondiente número de ceros.

9. ¡La resistencia vale 100.000 Ω!

En lugar de escribir 100.000 Ω los electrónicos prefieren utilizar 100 kΩ. Los números hasta el 999 se escriben sin abreviaturas, y los números por encima de los miles se escriben con una k, que significa kilo:

1k Ω = 1.000 Ω
10k Ω = 10.000 Ω
100k Ω = 100.000 Ω

Después de los k están los mega "M". Si debemos indicar un resistor de un millón de Ω: 1.000.000 Ω, escribiremos 1 MΩ. En ocasiones, el símbolo k o M puede utilizarse como una coma. Veamos algunos ejemplos de ello:

2k2 Ω= 2.200 Ω
4k7 Ω= 47.000 Ω
3M3 Ω= 3.300.000 Ω

La última banda de color indica la precisión del valor de la resistencia. Normalmente, siempre es de color dorado, que significa que el valor puede variar aproximadamente un 5 %. Si la banda es de color plateado, la tolerancia es del 10 %. Existen también componentes con precisiones más elevadas, del uno o el dos por ciento: estos tienen cinco bandas en lugar de cuatro y se leen con un procedimiento similar al que acabamos de ver.
No existen resistores de todos los valores imaginables, porque se necesitarían almacenes de dimensiones enormes. Las resistencias, así como casi todos los componentes electrónicos, se pueden adquirir solo en una serie limitada de valores. Los valores válidos respetan esta escala: 1, 1,2, 1,5, 1,8, 2,2, 2,7, 3,3, 3,9, 4,7, 5,6, 6,8, 8,2, 10. Nunca encontraremos una resistencia de 20 Ω, sino de 22 Ω o de 18 Ω. No existen componentes de 500 kΩ, sino de 470 kΩ o de 560 kΩ.
A continuación, vamos a intentar leer las resistencias que se muestran en la figura 2.6 (encontraréis las soluciones al final del capítulo).

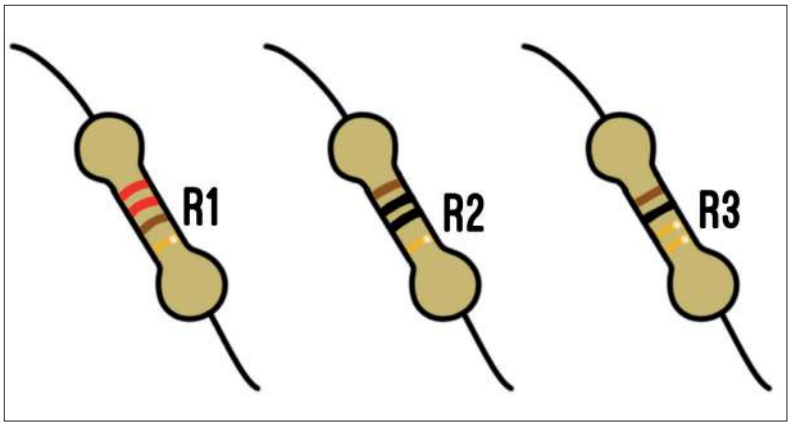


Figura 2.6 – Practiquemos leyendo los valores de estos resistores.

El símbolo que se utiliza para los resistores es una línea en zigzag, que recuerda un camino tortuoso. A veces también pueden identificarse con un simple rectángulo.

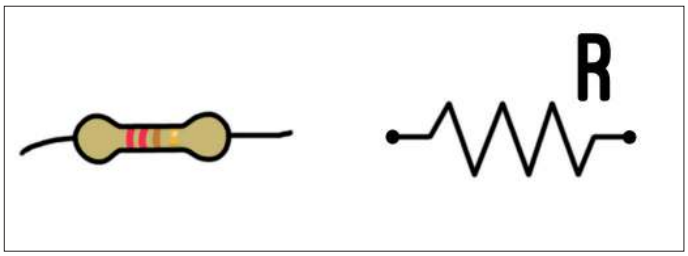


Figura 2.7 – El símbolo de un resistor es una línea en zigzag. En ocasiones también puede señalarse con un simple rectángulo.

Junto al símbolo, también puede indicarse el valor de la resistencia y el nombre del diseñador, por ejemplo, R_1. En el caso en que solo se indique el nombre, el esquema eléctrico va acompañado por una lista de materiales junto al nombre de los cuales se indican las características del componente.

Los resistores más comunes son los que tienen forma de salchicha, pero existen de diferentes formas y tipos. Las resistencias de este tipo están hechas de película de carbón u otros materiales resistentes.

Las resistencias, atravesadas por una corriente, se calientan. Si la corriente que pasa por ellas es importante, la resistencia podría calentarse mucho e incluso dañarse. La potencia disipada siempre debe ser menor a la potencia máxima que puede soportar el componente. Los resistores más comunes son los de 1/4 de vatio. Se pueden encontrar también de 1/8 de vatios o, incluso, un poco más grandes para potencias de 1/2, 1 o 2 vatios.

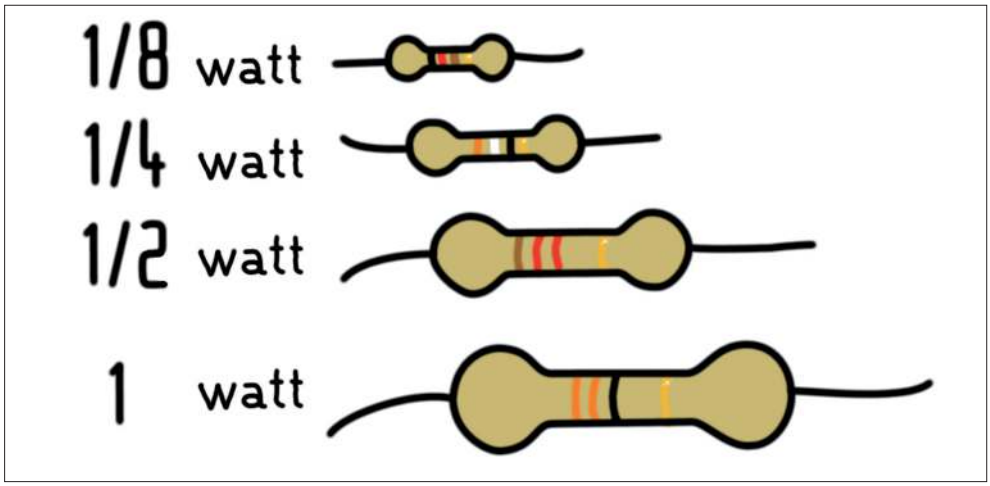


Figura 2.8 – Resistores capaces de soportar distintas potencias.

Existen resistores blindados, con la carcasa de cerámica, para soportar potencias de 5, 10 y hasta, incluso, 20 vatios.

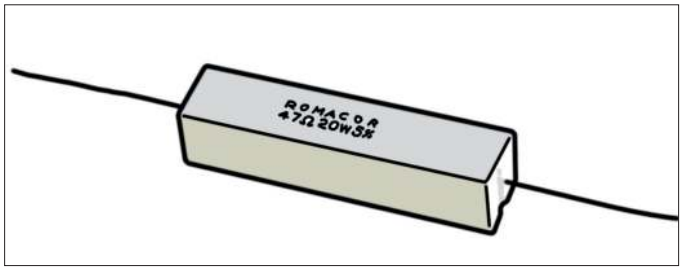


Figura 2.9 – Un resistor blindado de material cerámico puede disipar grandes potencias.

Si la potencia a disipar es muy elevada, se pueden utilizar también resistores con aletas de refrigeración. A veces podemos encontrarnos con formatos anómalos; son componentes con características físicas o eléctricas especiales y que, por tanto, no se pueden crear con los procesos de fabricación habituales. Estos dispositivos tienen formas particulares y poco reconocibles.

La electrónica moderna está miniaturizada. Los componentes utilizados en las producciones industriales son de montaje superficial (SMD, *Surface Mount Device*). Estos componentes son muy pequeños, económicos, precisos y rápidos de montar. Las resistencias de este tipo parecen pequeños ladrillos negros con el valor escrito encima. En dichos componentes podemos ver 103R para una resistencia de 10000 Ω. La tercera cifra indica el número de ceros.

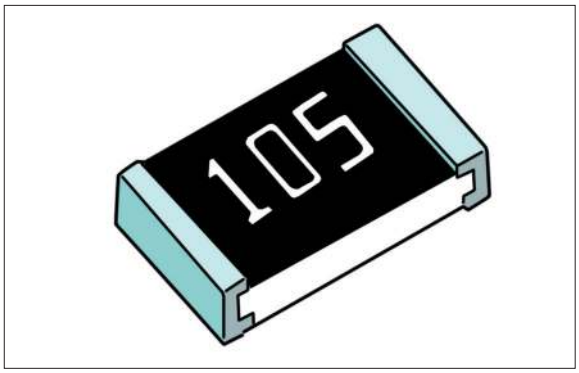


Figura 2.10 – Resistor SMD (de montaje superficial).

Resistencias en serie o en paralelo

Si conectamos dos resistores uno a continuación del otro obtenemos lo que se denomina una *conexión en serie*. La corriente que entra en el primero de ellos lo atraviesa y pasa al segundo. En la siguiente figura podemos ver cómo se reconoce este tipo de conexión en un esquema eléctrico y cómo se puede realizar en la práctica.

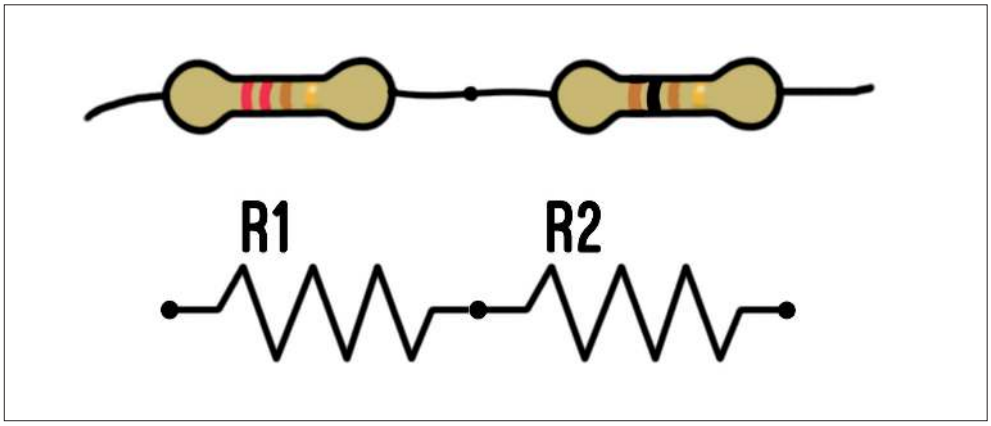


Figura 2.11 – Conexión en serie de dos resistores: esquema eléctrico y realización práctica.

Dos resistores en serie se comportan como un único resistor de valor igual a la suma de las dos resistencias. Podemos explicar el concepto en términos hidráulicos observando que un resistor es como un tubo con una constricción; reduce el flujo del agua que pasa por ella. Dos constricciones, una detrás de otra, equivalen a un paso más estrecho, pues estamos sumando los efectos.

$$R_{tot} = R_1 + R_2$$

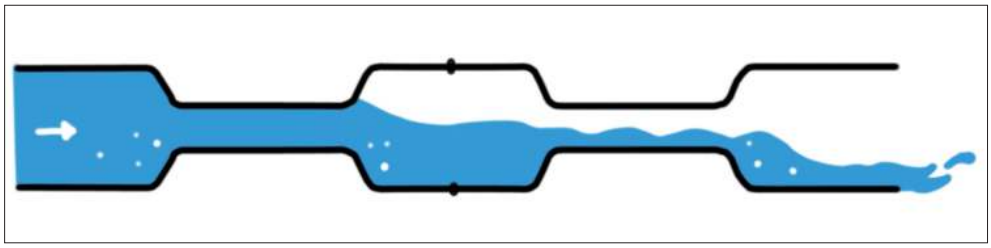


Figura 2.12 – Dos resistores en serie se comportan de forma similar a un tubo con dos constricciones, una detrás de otra.

Si R_1 vale 100 Ω y R_2 vale 50 Ω, la resistencia total de la serie de ambos resistores será igual a 150 Ω. Es decir, las dos resistencias se comportan como si fueran una única resistencia de 150 Ω. Obviamente podemos conectar en serie más de dos resistencias a la vez.

A continuación, intentaremos conectar dos resistores en paralelo, es decir, acoplando sus terminales. La corriente en este caso se encuentra frente a una bifurcación y se dividirá. Si las resistencias son de igual valor, la corriente se dividirá en partes iguales, mientras que en caso contrario la corriente más elevada pasará sobre la resistencia menor.

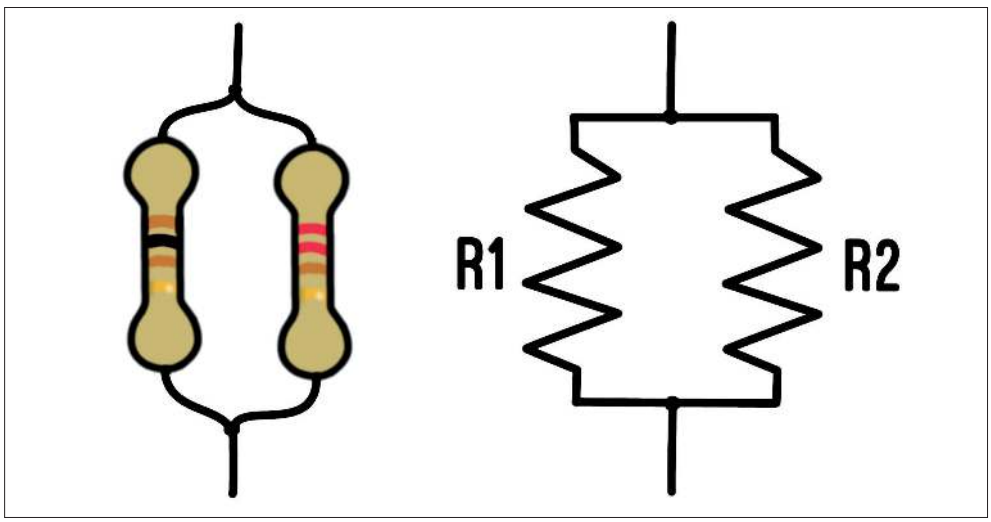


Figura 2.13 – Conexión en paralelo de dos resistencias: esquema eléctrico y realización práctica.

Si cambiamos las resistencias por tubos, tenemos dos pasos estrechos donde el flujo del agua se distribuye de forma equitativa. Tenemos dos constricciones, pero la sección resultante, que encuentra el agua, es mayor porque es igual que la suma de ambas.

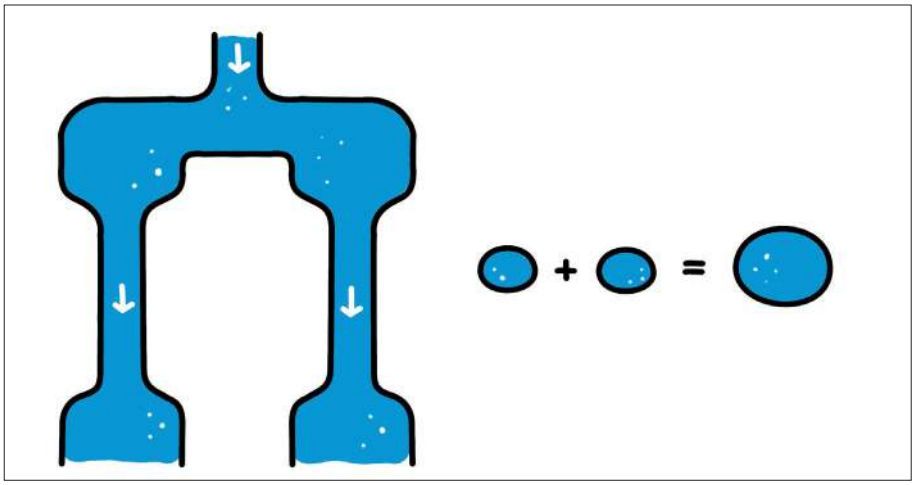


Figura 2.14 – Dos resistores en paralelo son como dos tubos uno junto a otro: la sección total de que dispone el flujo del agua es igual a la suma de las secciones de los dos conductos.

Dos resistores conectados en paralelo se comportan como un único componente cuyo valor se calcula con una fórmula. El caso más sencillo es aquel en que los dos resistores son idénticos: dos resistores de 150 Ω en paralelo equivalen a un único resistor de 75 Ω. ¡El valor total se reduce a la mitad! Para dos resistencias con valores distintos la fórmula es la siguiente:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

que deriva de la fórmula general y vale para un número cualquiera de resistencias en paralelo (y no es demasiado sencilla de usar):

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}}$$

Como ya hemos visto, las resistencias que se encuentran en el mercado tienen valores predeterminados. Las combinaciones en serie y en paralelo nos ayudan a obtener cualquier valor posible. Si necesitáramos una resistencia de 101 kΩ, simplemente deberíamos conectar en serie una resistencia de 100 kΩ a una de 1 kΩ.
Tratemos de calcular la resistencia equivalente para el circuito de la figura 2.15. El cálculo de la resistencia equivalente es un procedimiento matemático, mediante el cual

determinamos el valor total de la resistencia formada por la conexión de un grupo de resistores. Se procede paso a paso, simplificando grupos de resistencias.
Los valores de las resistencias son:

- $R_1 = 10\ \Omega$
- $R_2 = 100\ \Omega$
- $R_3 = 47\ \Omega$
- $R_4 = 56\ \Omega$
- $R_5 = 120\ \Omega$

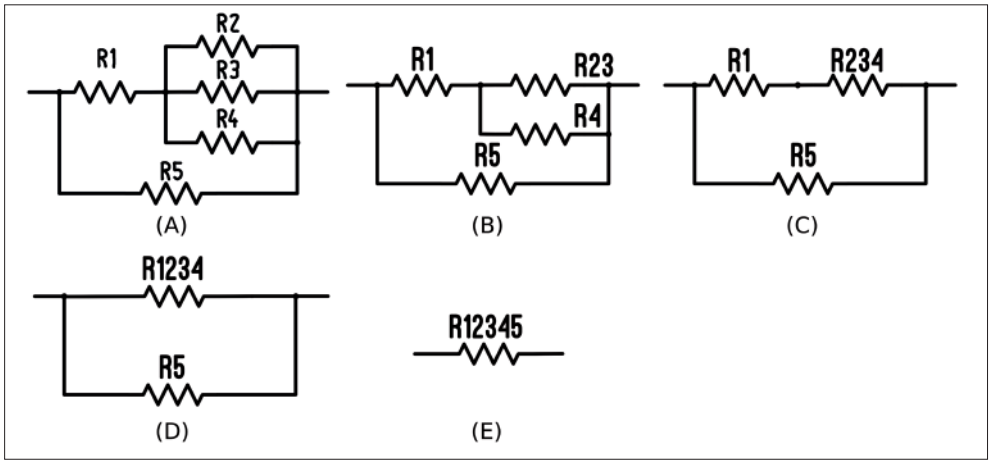


Figura 2.15 – Para calcular la resistencia equivalente de un circuito de resistores (A) se procede paso a paso simplificando y agrupando los componentes, hasta obtener una única resistencia (E).

Empecemos por el paralelo de R_2, R_3 y R_4. Primero calculamos R_2 con R_3:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{100 \cdot 47}{100 + 47} = \frac{4700}{147} \cong 31{,}97\ \Omega$$

Después, calculamos el paralelo de R_{23} con R_4:

$$R_{234} = \frac{R_{23} \cdot R_4}{R_{23} + R_4} = \frac{31{,}97 \cdot 56}{31{,}97 + 56} = \frac{1790{,}32}{87{,}97} \cong 20{,}35\ \Omega$$

Seguidamente tenemos la serie de R_1 con R_{234}:

$$R_{1234} = R_1 + R_{243} = 10 + 20{,}35 = 30{,}35\ \Omega$$

Y, por último, el paralelo entre R_{1234} y R_5:

$$R_{\text{tot}} = \frac{R_{1234} \cdot R_5}{R_{1234} + R_5} = \frac{30.35 \cdot 120}{30.35 + 120} = \frac{3642}{150.35} \simeq 24.22\ \Omega$$

Como práctica, intentemos calcular la resistencia del circuito mostrado en la figura 2.16. La solución está al final del capítulo. Los valores de las resistencias son:

- R_1 = 220 Ω
- R_2 = 1,2 kΩ
- R_3 = 10 kΩ
- R_4 = 470 Ω
- R_5 = 3,3 kΩ

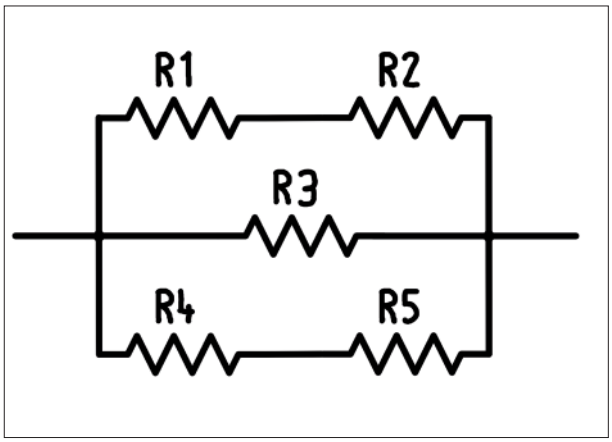


Figura 2.16 – Calculamos la resistencia equivalente para este circuito.

Divisores de tensión y de corriente

Si conectamos dos resistencias en serie, estamos creando un divisor de tensión, un circuito que sirve para dividir la tensión y reducirla a un valor deseado. El divisor se necesita cuando queremos obtener una tensión de 3 voltios de una batería de 9 voltios. ¿Qué resistencias se necesitan? En primer lugar, debemos decidir cuánta corriente circulará por ambos resistores. Elegimos un valor de corriente no demasiado elevado, de unos 10 mA.

Por lo tanto, tenemos que:

- $V_{\text{batería}}$ = 9 V
- V_1 = 3 V
- I = 10 mA

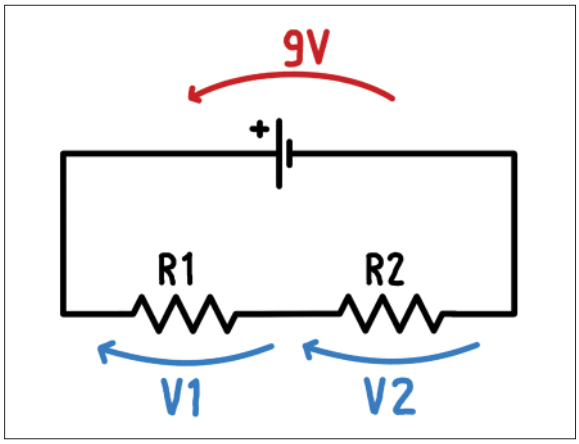


Figura 2.17 – Esquema eléctrico de un divisor de tensión conectado a una batería de 9 voltios.

Si recorremos el anillo formado por el divisor y la batería, si sumamos las tensiones, tenemos lo siguiente:

$$V_{batería} - V_1 - V_2 = 0$$

que rescribimos así:

$$V_2 = V_{batería} - V_1$$

Sustituimos los valores conocidos:

$$V_2 = 9\,V - 3\,V = 6\,V$$

Ahora ya conocemos tanto V_1 como V_2. Calculamos R_1 usando la ley de Ohm:

$$R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{3V}{10\,mA} = \frac{3V}{0{,}010\,A} = 600\,\Omega$$

Calculamos R_2:

$$R_2 = \frac{V_2}{I} = \frac{6V}{10\,mA} = \frac{6V}{0{,}010\,A} = 300\,\Omega$$

Vamos a ver si hemos hecho las cosas bien calculando la resistencia total y, después, comprobando si la corriente es igual a 10 mA.

$$R_{total} = R_1 + R_2 = 300 + 600 = 900\ \Omega$$

Comprobamos la corriente con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{V}{R_{total}} = \frac{9\ V}{900\ \Omega} = 0{,}010\ A = 10\ mA$$

¡Los cálculos son correctos! En la realidad las cosas serán un poco distintas, porque no existen en el mercado resistencias de 300 Ω o 600 Ω. Los valores más similares son los de 270 Ω y 560 Ω. Para practicar, comprobemos cuáles serán los valores reales de corriente y tensión del circuito.

NOTA

Un divisor no es un regulador de tensión propiamente dicho. Cuando conectamos otro circuito a su salida, estamos modificando el circuito. En los próximos capítulos veremos cómo se construyen circuitos más fiables.

Dos (o más) resistores en paralelo forman un divisor de corriente y subdividen una corriente en distintas ramas del circuito.

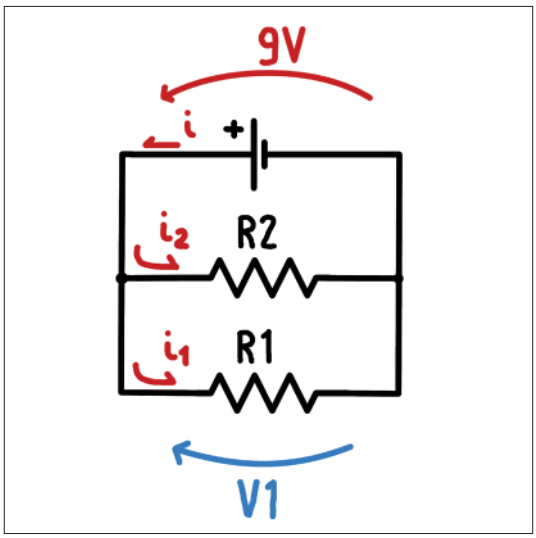


Figura 2.18 – Esquema eléctrico de un divisor de corriente conectado a una batería de 9 voltios.

Supongamos que tenemos un divisor con dos ramas por las cuales queremos que pasen 10 y 20 miliamperios:

- $V_{batería} = 9\ V$
- $I_1 = 10\ mA$
- $I_2 = 20\ mA$

En este caso, podemos determinar inmediatamente las resistencias necesarias para obtener las corrientes necesarias, porque los extremos de los resistores tienen 9 voltios. Utilizando la ley de Ohm, tenemos que:

$$R_1 = \frac{V_{batería}}{I} = \frac{9\ V}{10\ mA} = \frac{9\ V}{0{,}010\ A} = 900\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{batería}}{I} = \frac{9\ V}{20\ mA} = \frac{9\ V}{0{,}020\ A} = 450\ \Omega$$

Podemos obtener la resistencia total conectada a la batería a partir del paralelo de R_1 y R_2:

$$R_{total} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{450 \cdot 900}{450 + 900} = 300\ \Omega$$

La corriente total que proporciona la batería será igual a la suma de la corriente de las dos ramas. También se puede obtener, como comprobación, dividiendo la tensión de la batería entre la resistencia total:

$$I = \frac{V_{batería}}{R_{tot}} = \frac{9\ V}{300\ \Omega} = 0{,}030\ A = 30\ mA$$

Trimmer y potenciómetros

Para subir el volumen de un equipo de música giramos el botón que modifica el valor de una resistencia modificable que se denomina potenciómetro: un componente especial que cuenta con tres pines y un eje. El eje está conectado a un cursor que se desplaza sobre una tira de material resistivo, dispuesto en círculo. La rotación

máxima es de unos 270 grados y la resistencia puede variar del valor mínimo, de 0 ohmios, al valor máximo, que normalmente se encuentra impreso en el cuerpo del componente. Algunos componentes especiales denominados *multigiro* pueden realizar más de un giro. Normalmente, la variación es lineal, pero algunos potenciómetros, sobre todo los destinados a ser utilizados como control de volumen, están hechos para variar en modo no lineal (logarítmico).
Los trimmer son resistencias variables que se utilizan en circuitos impresos. No tienen eje, sino una muesca que se ajusta con un destornillador; se utilizan para regular valores que posteriormente no deberán ser modificados con frecuencia.
El modelo hidráulico del trimmer es un poco especial: debemos imaginarlo como un tubo de forma cónica, dotado de una toma móvil. Cuando la toma se encuentra al inicio del tubo, deja salir el agua sin que la fuerza se reduzca, pero si la toma se desplaza, la sección se reducirá cada vez más, dejando que salga poca agua también de la toma.

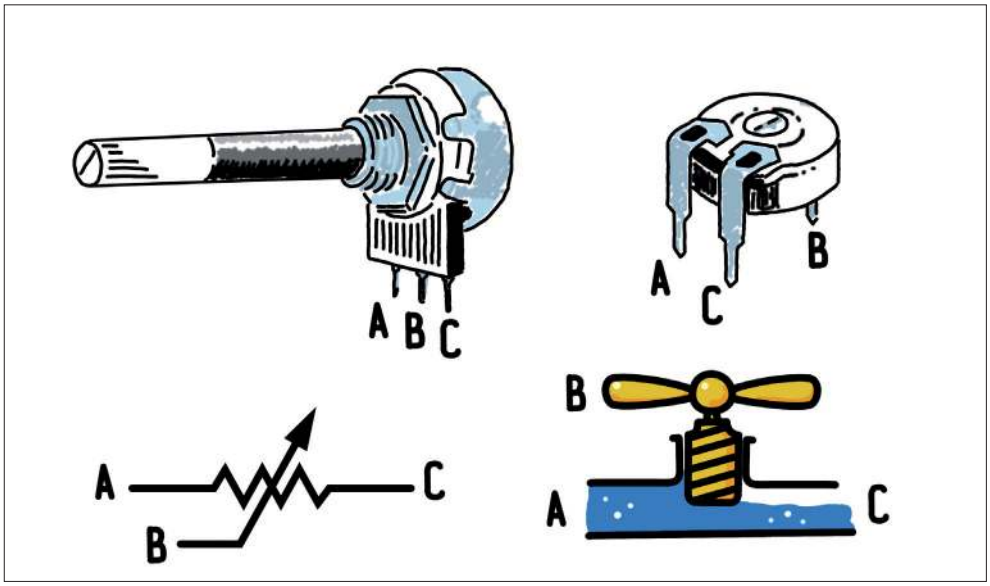


Figura 2.19 – Un modelo hidráulico simplificado del trimmer: un grifo con válvulas a tornillos.

Tanto trimmers como potenciómetros tienen tres pines que pueden usarse como:

- divisores de tensión regulables — en los cuales en el eje central surge una tensión intermedia entre las de los otros dos pines;
- reóstatos o resistores variables — en este caso se conectan de modo que

solo haya dos terminales y que el componente se comporte como un resistor de valor variable.

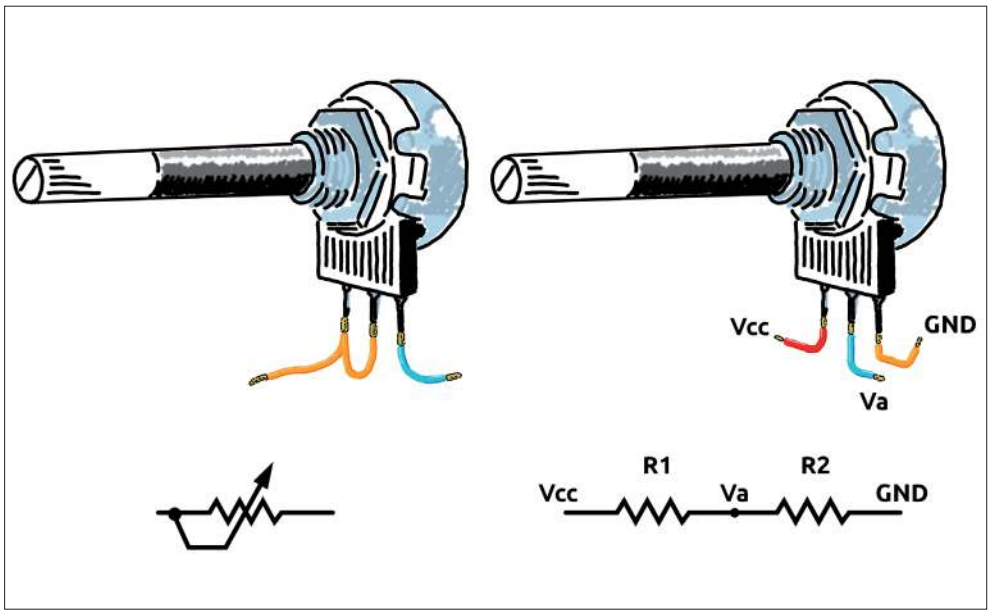


Figura 2.20 – Un potenciómetro conectado como reóstato y como divisor de tensión.

Medición de resistencias

Es sencillo medir una resistencia: basta con utilizar un tester. Giramos el selector del instrumento hasta la posición R y elegimos un flujo adecuado. Igual que para la medición de corrientes y tensiones, podría haber más valores posibles; desde cientos de ohmios hasta megaohmios. Ajustamos el selector en el valor adecuado, que es el valor inmediatamente superior a la resistencia que vamos a medir. Si nos equivocamos no ocurrirá nada malo y la aguja o la pantalla no mostrarán nada. Para efectuar la medición insertamos la sonda negra en el buje COM y el rojo en el buje indicado con una R o con Ω y tocamos los terminales del componente con las sondas. El componente que deseamos medir debe estar desconectado del resto del circuito; si no, la lectura de su valor podrá ser falseado. No es preciso que el resistor esté completamente desconectado, basta con liberar al menos uno de los dos terminales (en este caso, prestad mucha atención porque es peligroso trabajar en circuitos con tensión).

Figura 2.21 – Uso de un tester para medir una resistencia: las sondas están insertadas en los bujes COM y V/Ω, y el flujo se ajusta en un valor adecuado.

Termistores

Los resistores son componentes cuyo valor depende de muchos factores, entre los cuales, la temperatura. Aunque normalmente no se desea que la temperatura influya, existen elementos fuertemente dependientes de este parámetro que se pueden utilizar como sensores. Volviendo a nuestros tubos, podríamos imaginar un termistor como un tubo especial que es capaz de reducirse y ampliarse con la temperatura.

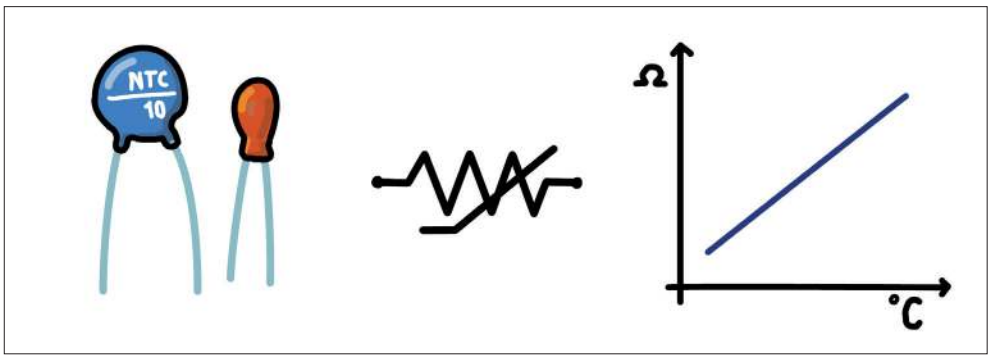


Figura 2.22 – Un termistor, su símbolo y un gráfico que ilustra el vínculo entre temperatura y resistencia.

Los termistores son, pues, resistores realizados con materiales cuya resistividad depende de la temperatura de forma lineal; por cada grado de más de temperatura, la resistencia cambia en una cantidad constante. En la naturaleza existen algunos materiales que aumentan su resistencia cuando aumenta la temperatura y otros cuya resistencia disminuye. Según esto, en el mercado encontramos dos tipos de termistores:

- NTC (*Negative Temperature Coefficient*) — la resistencia disminuye con el aumento de la temperatura y
- PTC (*Positive Temperature Coefficient*) — la resistencia crece con el aumento de la temperatura.

Los termistores tienen un valor en reposo, es decir, medido a una temperatura de referencia que normalmente se encuentra en torno a los 20 °C y vale unas pocas decenas de kiloohmios.
Si construimos un divisor de tensión con un termistor y una resistencia común, podremos medir la temperatura leyendo la caída de tensión en el termistor. La tensión no será igual a la temperatura actual, sino que tendrá un valor proporcional.

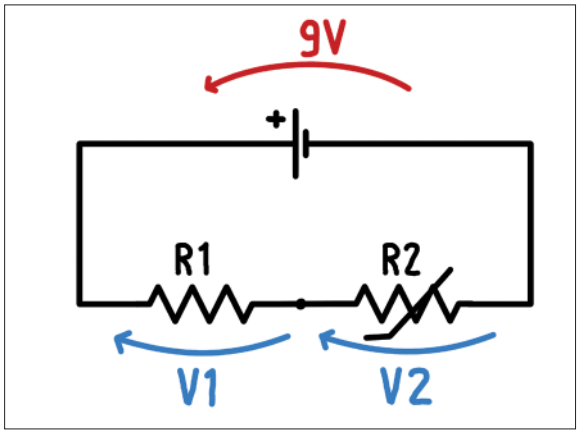


Figura 2.23 – Para medir la temperatura, conectamos un termistor en serie con una resistencia de 10 kΩ.

En un divisor alimentado a 5 voltios, formado por un termistor de 10 kΩ y una resistencia de 10 kΩ, a 20 °C, en el termistor podremos medir 4,5 voltios. Al cambiar la temperatura, la resistencia del termistor variará y, por lo tanto, se modificarán la resistencia y la corriente total del circuito, así como las caídas de tensión. Los termistores no proporcionan medidas precisas.
Para medir de forma precisa una temperatura, es mejor utilizar un componente especializado, como la sonda de temperatura LM35. Este componente tiene el aspecto de

un transistor, es decir, de un pequeño cilindro de plástico dotado de tres terminales. En su interior encierra un complejo circuito integrado que mide la temperatura ambiente y produce una señal muy precisa y estable.

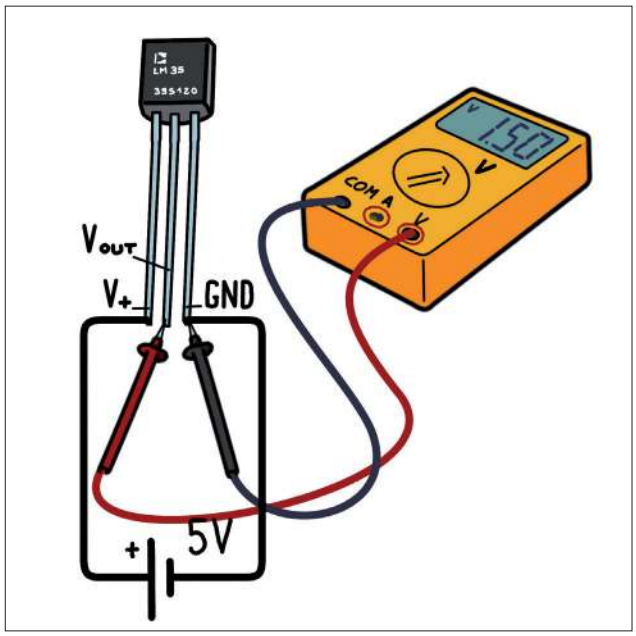


Figura 2.24 – La sonda de temperatura LM35.

La sonda tiene dos pines que sirven para alimentarla (podemos aplicar una tensión de 4 a 20 voltios) y un tercer terminal que proporciona la medida de temperatura con un paso de 0,1 voltios. Si sobre el eje de salida leemos 2,5 voltios, significa que hay exactamente 24 °C; la señal producida no depende de la tensión de alimentación (pero la tensión de alimentación debe ser suficiente).
Cada incremento de una décima de grado de temperatura produce un aumento de una fracción de tensión sobre la señal en salida. El incremento es siempre constante. Existen componentes cada vez más precisos que el LM35 que tienen un coste más elevado.

Fotorresistores

Así como ciertos materiales resistivos son sensibles a los cambios de temperatura, otros son sensibles a los cambios de luz. Algunos materiales, si se exponen a la luz, modifican sus propiedades eléctricas y pueden cambiar su resistencia. Los

fotorresistores están fabricados con materiales especiales que, cuando reciben luz —y, por tanto, fotones— disminuyen su resistencia. El cambio no es exactamente lineal, sino que hay un vínculo entre la cantidad de luz que recibe el componente y el valor de resistencia. Cuando el componente está completamente a oscuras, su resistencia puede valer algunos megaohmios. La analogía acuática es similar a la del termistor. El fotorresistor es un tubo especial capaz de modificar su propia sección si recibe luz.

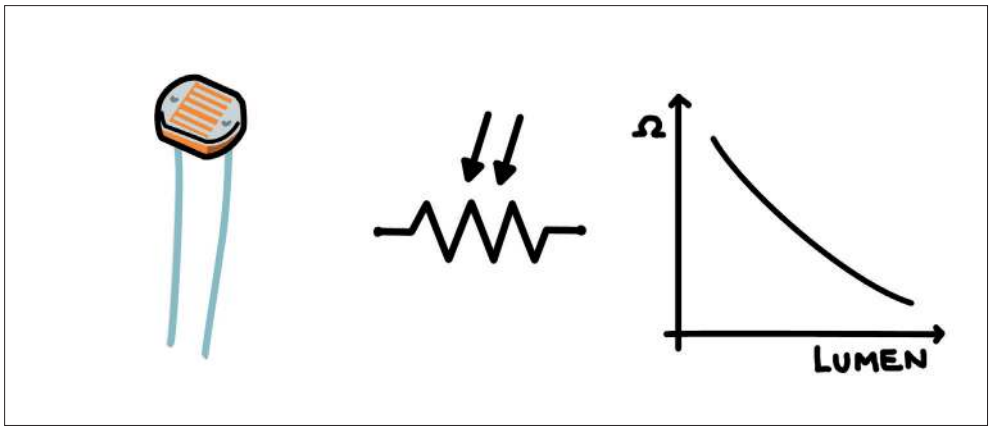


Figura 2.25 – Un fotorresistor, su símbolo y un gráfico que ilustra el comportamiento en distintas condiciones de iluminación.

Además de utilizar un fotorresistor, se necesita crear un divisor de tensión en el cual insertar el componente. Elegimos para ello una resistencia con un valor de algunos kiloohmios. El circuito se puede alimentar, por ejemplo, a 5 voltios, de manera que en el punto central se pueda leer una tensión proporcional a la cantidad de luz que llega al fotorresistor.

Además de los fotorresistores, existen otros componentes como los fotodiodos y los fototransistores que pueden obtener o medir una cantidad de luz. El fotodiodo se comporta como un pequeño generador de corriente: los fotones que llegan a los átomos del semiconductor liberan electrones y crean una pequeña corriente —de unas decenas de microamperios— cuando salen del dispositivo. Los fotodiodos son componentes veloces muy utilizados en el campo de las telecomunicaciones y pueden detectar también radiaciones más allá del campo visible (ultravioletas e infrarrojos).

Los fototransistores trabajan de forma parecida a los fotodiodos. Los transistores son componentes dotados de tres terminales, mientras que un fototransistor solo tiene dos. El uso de estos componentes es bastante sencillo porque se comportan como

una especie de grifo controlado por luz, que controla una corriente que circula entre los dos terminales.

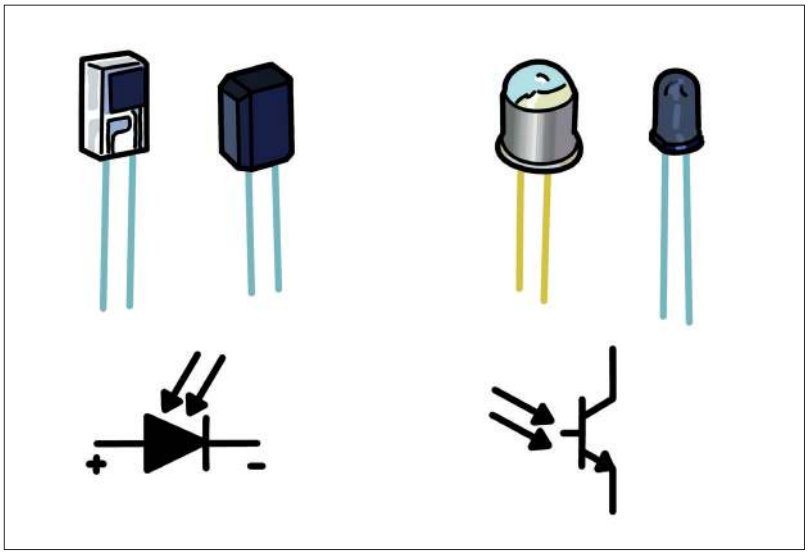


Figura 2.26 – Un fotodiodo, un fototransistor y sus símbolos eléctricos.

Ledes

Los ledes son componentes que emiten luz: una especie de lámpara. Son componentes muy comunes y su nombre es, en realidad, una sigla que significa diodo emisor de luz (*Light Emitting Diode*). Respecto a una lámpara común, tienen dos terminales, denominados ánodo y cátodo, y para encenderlos deben estar conectados correctamente porque la corriente puede atravesarlos solo en un sentido. El cátodo corresponde al terminal negativo y el ánodo al positivo. Los ledes no muestran texto alguno que nos ayude a identificar el ánodo y el cátodo. En el modelo más común, el que tiene el cuerpo transparente, cilíndrico y con una pequeña cúpula en su parte superior, el cátodo se reconoce por ser el terminal que, dentro de la cúpula, tiene forma de palo de golf. También se puede reconocer el cátodo por un bisel en el cuerpo del led, así como por la longitud del terminal, porque siempre es el más corto de los dos.

Podríamos imaginar el led como un tubo con una válvula de no retorno en el cual el agua circula en un único sentido y hace rotar una girándula que emite luz. Para encender el led debemos aplicarle una tensión entre 1,2 y 3 V y una corriente entre los 10 y los 20 mA. Los valores dependen del tipo de led y del color de la luz (consulte la tabla 2.2).

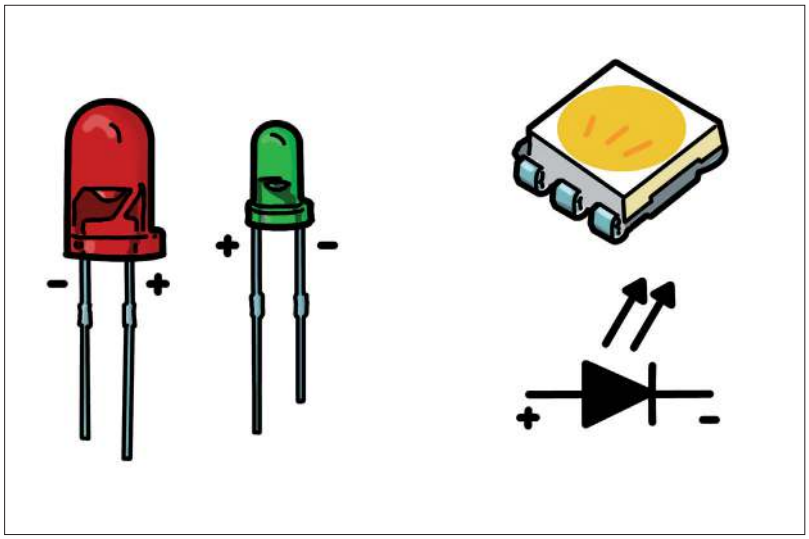


Figura 2.27 – Un led de 5 mm, uno de 3 mm, un modelo de montaje superficial (SMD) y el símbolo del componente. En el modelo de 5 mm, el cátodo es el terminal más corto, que coincide con una pequeña muesca, y tiene una forma particular.

Tabla 2.2 – Tensiones de alimentación para un led de distintos colores.

Color	Tensión (voltios)
Rojo	1,8
Amarillo	1,9
Verde	2,0
Azul	3,5
Blanco	3,0
Infrarrojo	1,3

Existen ledes capaces de emitir luz no visible en la gama de los infrarrojos. Se utilizan en los mandos a distancia o en los visores nocturnos como fuentes de iluminación invisible. Además de los ledes comunes de 3 y 5 milímetros, existen otros con formas particulares, cuadrados o triangulares, adecuados para ser utilizados como indicadores en paneles.

Los ledes bicolor tienen tres terminales, de los cuales el central normalmente es el cátodo común. Estos dispositivos se crean colocando dos ledes, uno rojo y otro verde, en el mismo conector. Los terminales laterales encienden alternativamente uno u otro led, mientras que, si encendemos ambos, obtendremos una luz amarilla o anaranjada.

Los ledes RGB tienen en su interior tres ledes, uno rojo, uno verde y otro azul, y por tanto tienen cuatro terminales. Modificando la intensidad luminosa de los tres ledes, es posible crear cualquier color imaginable.
Desde hace unas cuantas décadas, se encuentran en el mercado también ledes que pueden producir luz láser. Para poderlos utilizar se requieren conocimientos muy concretos y un circuito de alimentación especial.

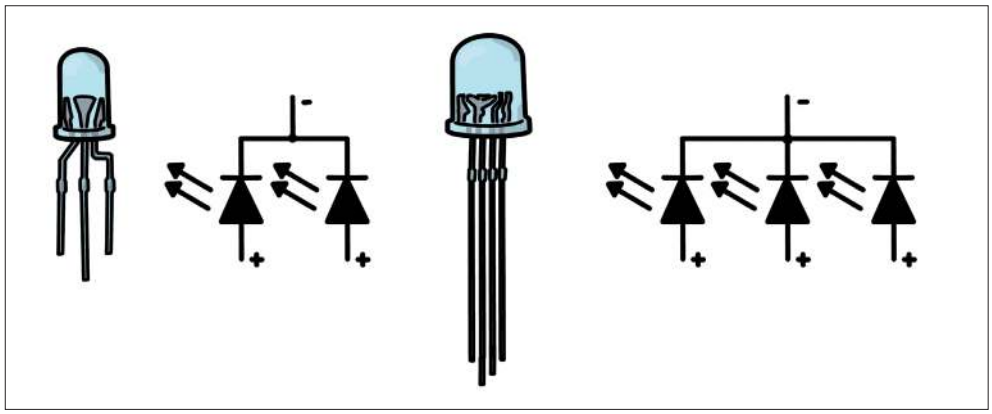


Figura 2.28 – Un led bicolor con tres terminales, un led RGB con cuatro terminales y sus símbolos eléctricos.

Las matrices de puntos son bloques formados por un cierto número de ledes conectados en rejilla o matriz. Las pantallas de siete segmentos recogen siete ledes de manera que puedan iluminar las siete partes que componen una cifra. Las pantallas tienen un pin común que puede ser el ánodo o el cátodo, según el modelo, y otros siete que corresponden a los segmentos, más uno para el punto. Existen también otros modelos más complicados, con más de siete segmentos o que incorporan más caracteres.
Para simplificar su uso se controlan con circuitos integrados de control especiales que reciben a la entrada la cifra que hay que representar y se ocupan del encendido de los correspondientes ledes, gestionando incluso más cifras al mismo tiempo.
Para visualizar informaciones más complejas, incluso gráficas, se utilizan dispositivos con distintas tecnologías, como por ejemplo las pantallas LCD, formadas por grandes matrices de puntos. Sería impensable controlarlas encendiendo cada uno de los pines. De hecho, se controlan enviando instrucciones a un canal de serie o a una serie de líneas digitales. Pueden parecer objetos muy complejos, pero, gracias a los modernos microcontroladores, controlar una pantalla es una operación muy sencilla.

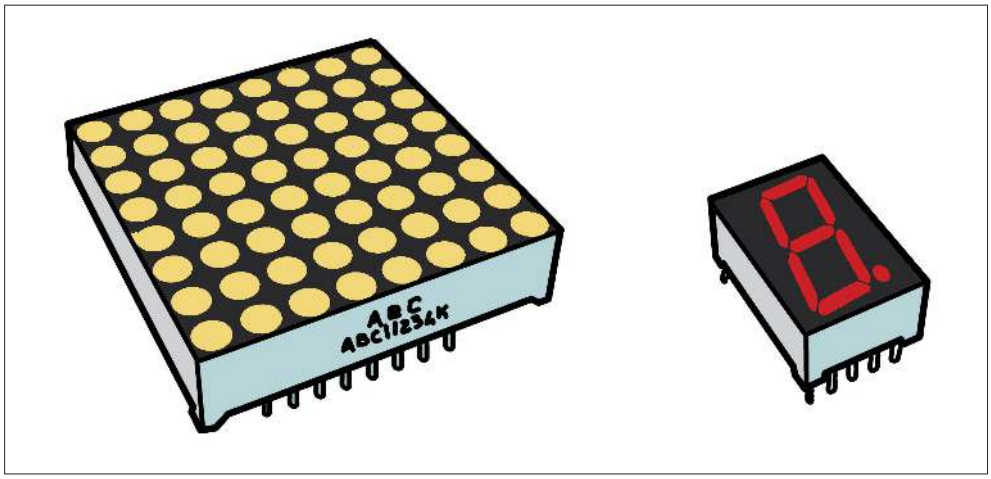


Figura 2.29 – Una matriz de ledes y una pantalla de siete segmentos.

Señales PWM

Para modificar la intensidad de luz producida por un led podríamos utilizar un resistor, el cual reduciría la corriente. Sin embargo, los ledes para encenderse necesitan una tensión y una corriente específicas y tienen un funcionamiento del tipo ON-OFF; pueden estar encendidos o apagados. Si añadimos la resistencia podremos hacer que la corriente que los atraviesa cambie un poco, modificando ligeramente la luminosidad. Para modificar la intensidad luminosa según nuestras necesidades, debemos recurrir a un truco que consiste en encenderlo y apagarlo muchas veces por segundo.

Sería como lo que ocurre en el cine, donde la escena en movimiento está formada por múltiples fotogramas en una secuencia rápida. Imaginemos que tenemos un mazo con cien fotos de nuestro led encendido y que las repartimos; veremos la película de un led encendido. Ahora tomamos el mazo con cien fotos del led apagado y las pasamos a gran velocidad; veremos un led apagado.

¿Qué ocurriría si sustituyéramos una de las fotos con una imagen del led encendido? Nos parecería ver un leve resplandor. Sustituyamos un número mayor de fotos. Si tuviéramos cincuenta con el led encendido y cincuenta con el led apagado, nos parecería que el led se ha encendido a la mitad.

En electrónica esto se realiza con una señal denominada PWM (*Pulse Width Modulation*), es decir, una señal eléctrica que puede asumir solo el valor de 0 voltios o el máximo, y con los tiempos en los cuales la señal está encendida y está apagada regulables según nuestras preferencias. La secuencia se repite muy rápidamente durante un segundo y nuestros ojos no notan el efecto: ¡exactamente igual que en el cine!

Las señales PWM son sencillas de crear con microcontroladores o con circuitos integrados.

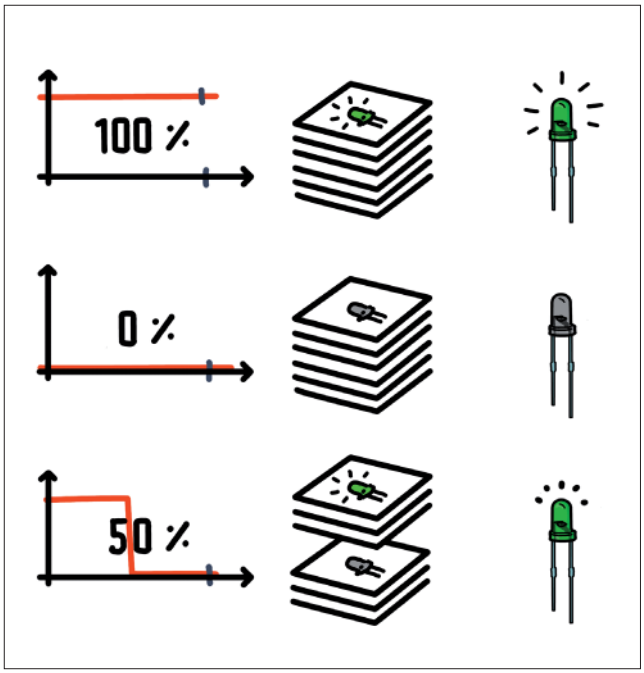


Figura 2.30 – Con una señal PWM es fácil regular la intensidad luminosa de un led.

Condensadores

Los condensadores son componentes capaces de almacenar cargas eléctricas. Se fabrican con un bocadillo formado por dos placas de material conductivo, las armaduras, que encierran una capa aislante o solo de aire, denominada *dieléctrico*. Las distintas partes no están en contacto y, por lo tanto, no debería circular corriente por ellas. De hecho, esto es lo que ocurre normalmente, cuando las corrientes son estables. En los transistores y cuando las corrientes varían en el tiempo, los condensadores se comportan como si fueran resistores especiales. En las armaduras, por efecto de las corrientes y las tensiones aplicadas, se acumulan cargas, positivas por una parte y negativas por la otra. Los extraños comportamientos se deben a las variaciones de carga sobre las armaduras. La capacidad de mantener cargas sobre las armaduras se expresa en faradios y estos componentes tienen un intervalo de valores muy amplio que va desde los miles microfaradios (μF) de los condensadores utilizados en grandes alimentadores o amplificadores, hasta los picofaradios (pF) de los componentes utilizados en radios y ordenadores. Un condensador se puede comparar con un vaso, capaz de almacenar pequeñas cantidades de agua. En realidad, son más parecidos a un vaso con un pequeño agujero que provoca que se vaya vaciando. El agujero representa las pérdidas que presenta el componente de forma inevitable.

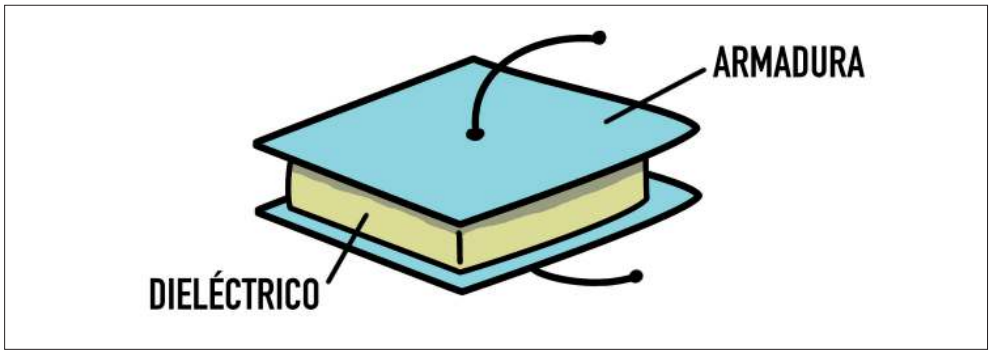


Figura 2.31 – Representación de la estructura de un condensador donde son visibles las armaduras y el dieléctrico.

Si aplicamos una corriente variable a un condensador, este se comportará como un resistor: al aumentar la frecuencia, su resistencia disminuirá cada vez más hasta convertirse en nada. Sin embargo, el término correcto no es resistencia, sino reactancia, que se expresa igualmente en ohmios. La fórmula para determinar la reactancia del condensador a una determinada frecuencia es la siguiente:

$$X_c = \frac{1}{2\Pi \cdot f \cdot C}$$

En esta fórmula se debe indicar la frecuencia de oscilación de la corriente en Hz y el valor del condensador en faradios. La constante pi vale 3,14.
Veamos cuánto vale la reactancia para un condensador de 1 μF (10^{-6}) a 50 Hz.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{6{,}28 \cdot 50} = \frac{10^6}{314} \cong 3184\ \Omega$$

Y a una frecuencia de 1 kHz (10^3):

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^3}{6{,}28} \cong 159\ \Omega$$

Y a una frecuencia de 100 kHz (10^5):

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^{-1}} = \frac{10}{6{,}28} \cong 1{,}59\ \Omega$$

Reconocer los condensadores

Los condensadores se fabrican utilizando distintas tecnologías que se diferencian entre ellas por el tipo de material empleado para el dieléctrico; se utiliza cerámica, plástico, papel, líquidos, metales concretos, etc. Algunos tienen incluso polaridad, que debe respetarse si no se quiere dañar el componente. En el cuerpo aparecen escritas las indicaciones útiles para conocer el valor y la máxima tensión de trabajo e identificar la polaridad. Es importante respetar la tensión de trabajo máxima, si no corremos el riesgo de dañar el componente, perforando el dieléctrico. Es más difícil descifrar el valor de un condensador que el de una resistencia. Cada tecnología produce condensadores con una forma típica y convenciones distintas. Respecto a las resistencias, los condensadores tienen tolerancias mucho mayores (en torno al 10 % o incluso más) y su valor real puede ser muy distinto al valor nominal.

Los condensadores más sencillos de leer son los electrolíticos, en cuyo interior contienen un dieléctrico empapado en una solución líquida y que tienen la forma de un cilindro: tensión, capacidad y polaridad están impresos en el contenedor. Este tipo de condensadores son bastante amplios, con valores de capacidad que parten de fracciones de µF hasta algunos miles de microfaradios (µF).

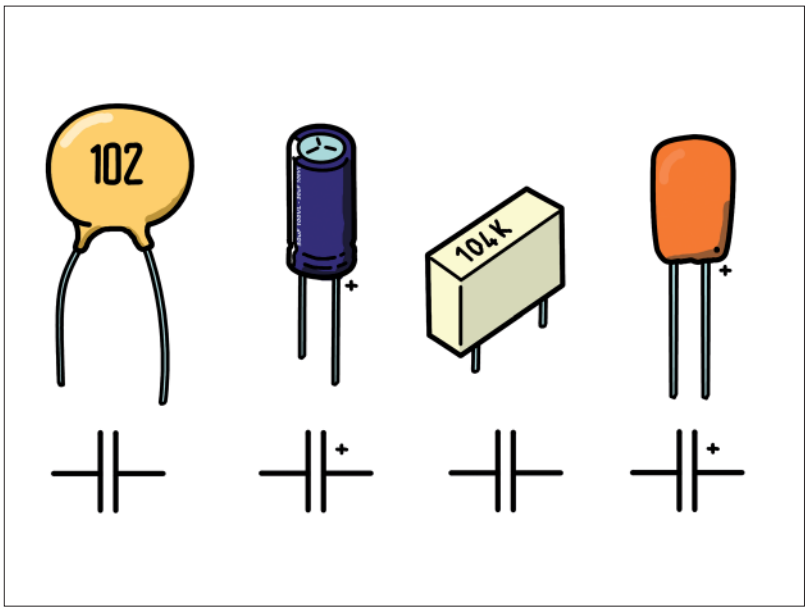


Figura 2.32 – Condensadores de distintos tipos: cerámico, electrolítico, de poliéster y de tantalio. El símbolo del condensador recuerda las dos armaduras con el dieléctrico en medio. Si el condensador está polarizado, sobre su símbolo, junto a la armadura aparece un signo +.

Los condensadores cerámicos son muy comunes de dimensiones pequeñas. No tienen polaridad y sus valores van de los pocos picofaradios (pF) hasta los cientos de miles de picofaradios. La sigla que se muestra impresa sobre su cuerpo indica la capacidad y la tolerancia. Podemos encontrarnos el valor 102k, que significa que la capacidad es igual a 10, cifra que debemos completar con dos ceros, es decir, 1000 pF, porque la capacidad siempre se expresa en picofaradios. La letra k indica que tiene una tolerancia del 10 %.

Tabla 2.3 – Tolerancia de los condensadores de cerámica

Letra	Tolerancia
J	±5 %
K	±10 %
M	±20 %
Z	±20÷80 %

Las comas pueden realizarse con un punto, con una P o con la letra utilizada para indicar la tolerancia. Para salir de dudas, es recomendable conseguir un multímetro que pueda medir también condensadores.
Aquí tenéis algunos ejemplos:

1 o 1P0 = 1 pF
3,3 o 3P3 = 3,3 pF
121 o n12 = 120 pF

Los condensadores de poliéster pueden tener la forma de paralelepípedo y los valores suelen aparecer en la parte superior o en un lado, junto a la indicación del voltaje de trabajo.
Por ejemplo, el texto 334k 100v significa que la capacidad es igual a 33 seguido de cuatro ceros, es decir, 330.000 picofaradios. La letra k nos dice que la tolerancia es del 10 % y el voltaje máximo aplicable es 100 V.
Estos componentes también utilizan la notación a dos cifras más un multiplicador al cual debemos habituarnos. La unidad mínima es siempre el picofaradio.

Tabla 2.4 – Tolerancia de los condensadores de poliéster

Letra	Tolerancia
F	±1÷2 %
G	±2 %
J	±5 %
K	±10 %
M	±20 %

Veamos algún ejemplo:

102 o 1n o .001 = 1.000 pF o 1 nF
334 o 330n o .33 = 330.000 pF o 330 nF

Condensadores en serie y en paralelo

Ya hemos visto que los condensadores por los cuales circula corriente a una cierta frecuencia se comportan como resistores. Podemos conectarlos en serie y en paralelo, pero debido a su estructura constructiva y a su principio de funcionamiento presentan diferencias.

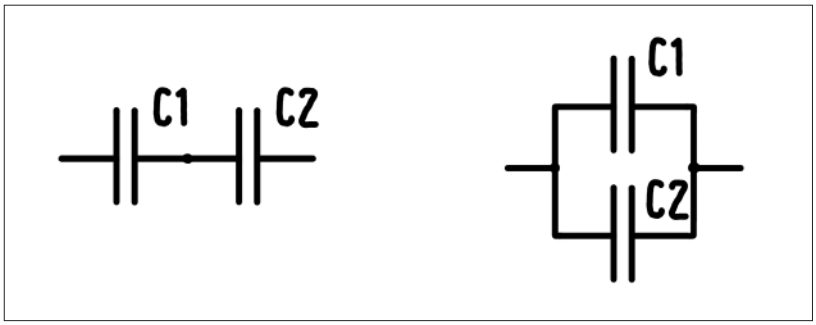


Figura 2.33 – Condensadores conectados en serie y en paralelo.

Para aumentar su capacidad los podemos conectar en paralelo, que es como si aumentáramos el área de las armaduras. Por esta razón, la fórmula es muy sencilla:

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + \ldots$$

Para obtener valores de capacidad no disponibles en el mercado, podemos conectar dos o más condensadores en serie. En este caso, la fórmula recuerda a la de las resistencias en paralelo:

$$C_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots}$$

Si tenemos solo dos condensadores en serie, la fórmula se simplifica:

$$C_{tot} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Compensadores y condensadores de aire

Los condensadores también pueden ser variables. No son tan conocidos como el trimmer o el potenciómetro y su capacidad puede ser modificada con un sistema mecánico. Los condensadores variables tienen dos grupos de armaduras, dispuestas de modo perpendicular, una de las cuales está fija y la otra puede girar. Al girar un eje, las armaduras se solapan, modificando la capacidad del componente. Los compensadores son pequeños componentes, denominados también *trimmer*, regulables con un destornillador e ideados para el montaje sobre un circuito impreso. El dieléctrico de los compensadores puede ser de plástico, mica, vidrio o aire. Por sus dimensiones reducidas, los compensadores cubren un intervalo de valores limitado, llegando como máximo a unas decenas de picofaradios. Actualmente, es imposible encontrar condensadores variables auténticos. Se utilizaban en la construcción de aparatos de radio de onda corta y, además, eran de dimensiones considerables. Sus valores llegaban a miles de picofaradios. Para las radios, actualmente se utilizan otras tecnologías, incluso digitales, y en lugar de los voluminosos condensadores variables se utilizan, por ejemplo, unos diodos especiales denominados Varicap, capaces de funcionar como condensadores controlados por la corriente.

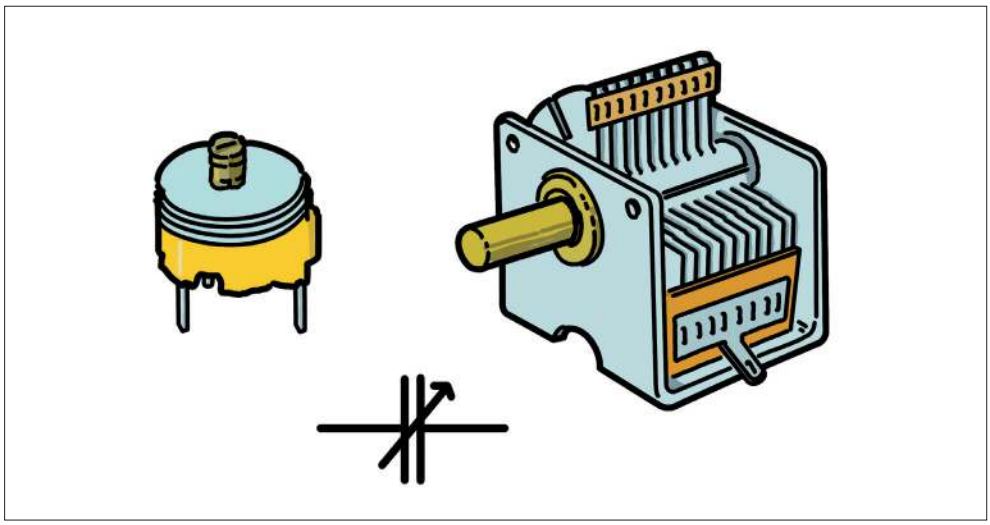


Figura 2.34 – Compensador y condensador variable, donde se ven perfectamente las armaduras fijas y móviles.

Cables eléctricos

Los componentes más utilizados en electrónica son... ¡los cables! Para construir nuestros prototipos, necesitaremos mucho cable eléctrico. Existe una gran variedad de ti-

pos y modelos. El metal más utilizado es el cobre porque, después de la plata, es el metal con la resistividad más baja. No se utiliza la plata porque tiene un coste más elevado. Los cables eléctricos que utilizaremos para nuestros proyectos serán principalmente del tipo de núcleo rígido, es decir, formados por un único hilo de cobre cubierto por una vaina protectora de plástico o goma. Estos cables son óptimos para ser utilizados en las placas de pruebas (las *breadboard*), pero no son muy recomendables para ser utilizados en la fabricación de circuitos más duraderos, porque es fácil que con vibraciones u otras tensiones se puedan romper. Para la construcción de bobinas se utilizan hilos de cobre esmaltados; están formados por un simple hilo de cobre cubierto por una sustancia aislante que debe quitarse con una hoja de afeitar o con papel de lija.

Para conectar entre sí distintos circuitos o partes externas, como relés, potenciómetros, lámparas, ledes, interruptores o conectores, son más aconsejables los cables formados por finos hilos de cobre trenzados. Este tipo de cables son flexibles, se pueden doblar fácilmente y son más tolerantes a las tensiones mecánicas. A veces, se recogen varios cables en una única vaina. Los cables internos se denominan polos o almas.

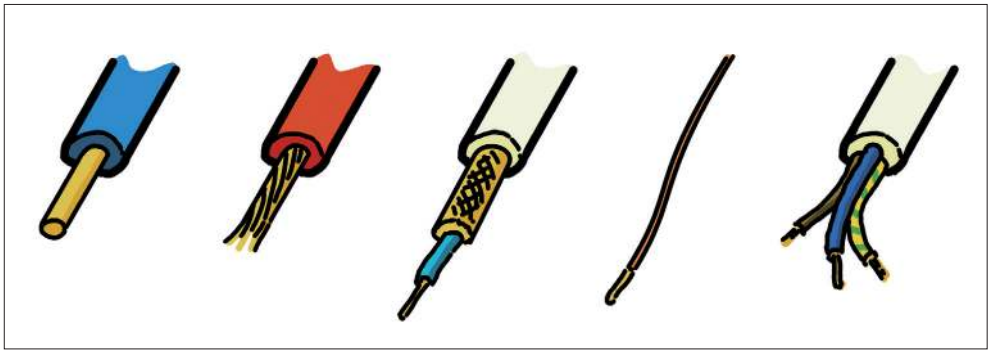


Figura 2.35 – Cables eléctricos: de núcleo rígido (A), trenzado (B), coaxial (C), esmaltado (D) y múltiple (E).

Los cables coaxiales están formados por un cable central aislado, de núcleo rígido o trenzado, cubierto por una malla de cobre y, seguidamente, por una segunda vaina aislante. En los cables coaxiales, la malla externa, que se conecta a tierra, protege del ruido que podría ser interceptado. En su interior, puede haber uno o más polos. Los cables coaxiales utilizados con señales de frecuencia elevada no se pueden considerar como una simple conexión y presentan una determinada resistencia junto a una determinada capacidad, aspectos que no pueden ser ignorados en el diseño de un circuito de radio o de frecuencias elevadas.

La sección de un cable influye sobre la corriente máxima que puede circular por él, es decir, el flujo del cable. La corriente, cuando circula por un cable, tiende a dispersarse cerca de la superficie del conductor: un cable formado por una trenza de conductores tendrá una resistencia menor que un cable con un único conductor con la misma sección. En general, cuanto mayor es la sección del cable, menor es la resistencia y mayor es su flujo. Las corrientes continuas también tienen en cuenta los cables y su sección. Si un cable no tiene el tamaño suficiente, tendrá una resistencia mayor de lo previsto y, si circulara por él una corriente elevada, podría dar lugar a caídas de tensión imprevistas. ¿Os habéis fijado alguna vez lo gruesos que son los cables eléctricos que se conectan a la batería de 12 voltios de vuestro coche o moto? Pues es precisamente por este motivo.

Inductores

Los inductores son componentes muy sencillos, formados por cable eléctrico enrollado en bobinas, que se comportan al revés que los condensadores. Mientras que los condensadores actúan como circuitos abiertos a las corrientes continuas y dejan pasar las corrientes variables, los inductores dejan pasar las corrientes continuas, pero se oponen a los cambios de corriente. Cuando aumenta la frecuencia se comportan como una resistencia cuyo valor aumenta cada vez más. La corriente que circula en las bobinas crea un campo electromagnético que influye en el flujo de la corriente misma, obstaculizando cualquier variación. Las bobinas almacenan corriente mediante el campo electromagnético que han generado y la pueden liberar cuando esta ya no llega.

Los inductores se pueden comprar o construir. Basta con enrollar el cable de cobre esmaltado en torno a un cilindro de papel que puede contar o no con un núcleo de metal o de hierro. Para la construcción de las bobinas se pueden ejecutar algunas fórmulas sencillas que indican las dimensiones que debe tener el componente. Los parámetros típicos son la sección del cable, el diámetro de las espiras, la longitud de la bobina, el número de vueltas, el espaciado y la forma del devanado.

La capacidad de oponerse al flujo de una corriente se denomina inductancia y se mide en henrios y submúltiplos del henrio (mili y micro). La presencia de un núcleo aumenta la inductancia de la bobina y mejora su factor de calidad, un parámetro, indicado con la letra Q, útil para conocer la eficiencia de la bobina. Una Q elevada indica que la bobina amortiguará mejor las oscilaciones.

En este caso también podemos encontrar una analogía acuática: una manguera de goma muy larga enrollada varias veces. Antes de que el agua la atraviese pasará un tiempo, tras el cual rápidamente el líquido fluirá sin problemas, pero cualquier variación del flujo sufrirá algo de resistencia.

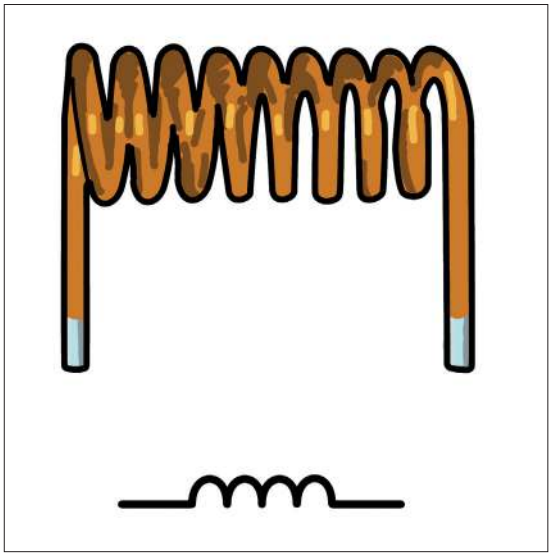


Figura 2.36 – Un inductor y el símbolo que recuerda el cable enrollado. Una bobina puede compararse con una manguera enrollada sobre sí misma.

Los inductores atravesados por una corriente variable se comportan como una resistencia que se denomina reactancia y que depende de la frecuencia (f) y del valor de la inductancia (L). La reactancia se expresa con la letra X y se calcula con la siguiente fórmula:

$$X_L = 2\Pi \cdot f \cdot L$$

Para una bobina de 10 μH (10×10^{-6}) con una frecuencia de 0 Hz, es decir, con corriente continua, la reactancia coincide con la resistencia y es igual a 0 Ω.
Para 10 Hz obtenemos:

$$X_L = 2\Pi \cdot 10 \cdot \left(10 \cdot 10^{-6}\right) = 6{,}28 \cdot 10^{-4} = 0{,}000628\,\Omega$$

Si la frecuencia sube hasta 1 MHz obtenemos:

$$X_L = 2\Pi \cdot 10^{6} \cdot \left(10 \cdot 10^{-6}\right) = 6{,}28 \cdot 10 = 62{,}8\,\Omega$$

Los inductores también se pueden conectar en serie y en paralelo. Las fórmulas se parecen, en cuanto a su forma, a las correspondientes a las resistencias. Una serie de inductores se calcula con una simple suma:

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots$$

Para los inductores en paralelo debemos utilizar la fórmula habitual pero al revés:

$$L_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots}$$

Para los inductores no es fácil encontrar convenciones y estándares para su etiquetado. En muchas ocasiones están fabricados a medida y, por ello, es difícil identificar su valor. Existen en el mercado multímetros dotados de un inductacímetro, que pueden medir estos componentes y despejar cualquier duda. Para aquellos que trabajan a menudo con inductores, el inductacímetro es un instrumento fundamental.
Algunos inductores están enrollados en torno a carretes especiales con un núcleo de material metálico (ferrita), el cual puede extraerse con la ayuda de un destornillador. Si se modifica la posición del núcleo, se modifica también el valor de la inductancia. Este tipo de bobinas son los equivalentes a un trimmer.
La propiedad de atenuar las señales en frecuencia hace que las inductancias se utilicen como supresores de ruido en las líneas de alimentación. Este tipo de componente particular se denomina también bobina de choque y tiene valores en torno a algunos milihenrios. Los inductores se utilizan para construir filtros y, en radiofrecuencia, para crear circuitos sintonizados, osciladores, así como para detectar transmisiones de radio.

Transformadores

Un uso muy común de los conductores es la fabricación de transformadores, proceso en el cual se acoplan dos bobinas utilizando un mismo núcleo o, simplemente, enrollándose una sobre otra. Un transformador es un dispositivo capaz de transformar una tensión de entrada en una tensión más elevada o más reducida. Ambos comportamientos toman el nombre de primario y secundario y la relación entre el número de espiras de uno y de otro determina cómo será la tensión en salida. Si el primario tiene más espiras que el secundario, la tensión en salida se reduce. Este tipo de transformadores es muy conocido porque se utilizan en los alimentadores para reducir la tensión de red. Sin embargo, los alimentadores modernos utilizan otros métodos para convertir la tensión de red, más eficientes y menos voluminosos que los transformadores.

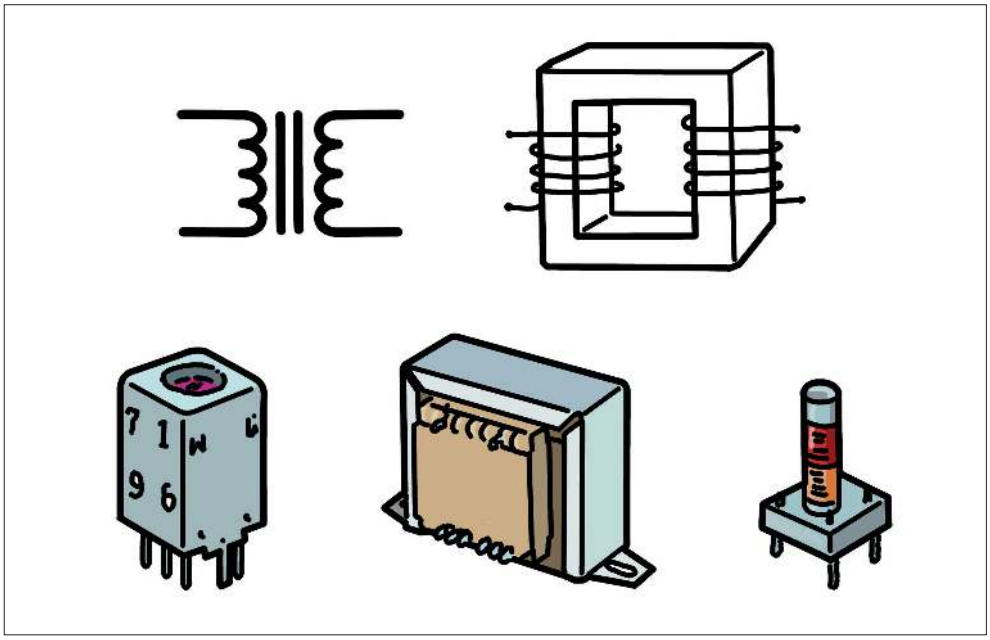


Figura 2.37 – Símbolo del transformador y representación de distintos modelos; para alimentación, radiofrecuencia y acoplamiento de audio.

Los transformadores también se utilizan en circuitos de audio o allí donde sea necesario adaptar las impedancias, es decir, la resistencia que presenta un circuito ante dos de sus terminales. El comportamiento secundario puede tener, además, distintas tomas para proporcionar tensiones diferentes en salida o señales con distintas impedancias.

Pulsadores e interruptores

Los pulsadores y los interruptores (*switch*) pueden proporcionar el *feedback* más sencillo por parte de un usuario. Los pulsadores para circuitos impresos cuestan unas pocas decenas de céntimos y su variedad es casi infinita. Existen de todos los tipos y modelos, con tapas, cubiertas e, incluso, iluminados y dotados de lámparas e indicadores, aunque se clasifican por su funcionamiento y no por su forma.

Los pulsadores son dispositivos mecánicos que cuentan con un muelle que contrasta la presión del botón. El muelle puede ser más o menos fuerte, para evitar presiones no deseadas causadas, a veces, por vibraciones. El modelo de pulsador más conocido es el que se denomina normalmente abierto (ON). Al pulsar el botón, entran en contacto eléctrico los dos terminales. En un pulsador normalmente cerrado (NC), los terminales siempre están en contacto y, al pulsar el botón, se interrumpe este contacto.

Los interruptores, en cambio, son dispositivos en los cuales la presión de un botón o el accionamiento de una palanca crea o interrumpe un contacto. Un desviador es un interruptor con más de una vía de salida.

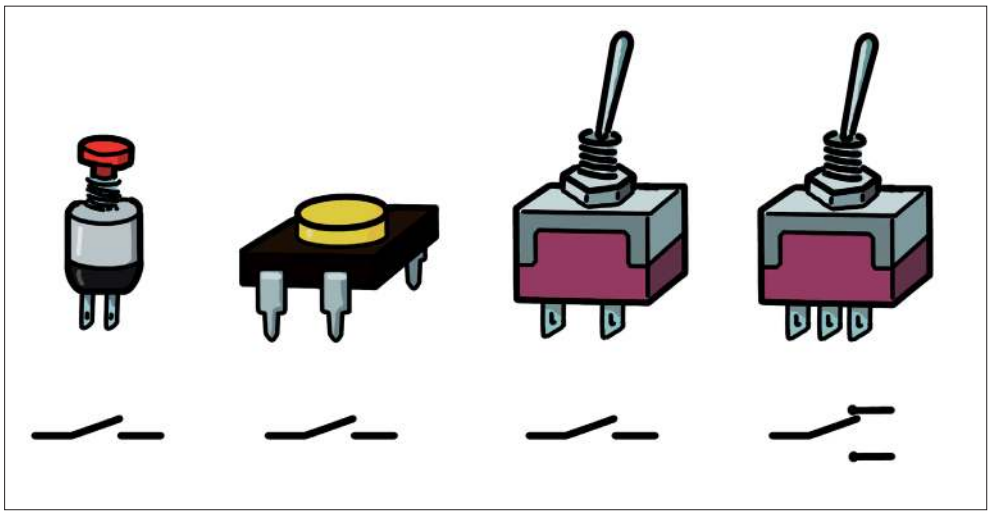


Figura 2.38 – Pulsador, pulsador para montaje en circuito impreso, interruptor y conmutador.

En los catálogos podemos encontrar siglas que indican el número de vías de entrada y de salida con que cuenta cada dispositivo. Las vías de entrada se denominan *Pole* (P) y las de salida *Throw* (T). Si la vía es única se utiliza la letra S (*Single*), mientras que si es doble se utiliza la letra D (*Double*). Existen también dispositivos con más de dos vías, en cuyo caso se utilizan números. Por ejemplo, SP3T es un dispositivo con una vía de entrada y tres vías de salida. Algunas de las siglas más comunes son:

- SPST (*Single Pole – Single Throw*): una vía de entrada y una de salida.
- SPDT (*Single Pole – Double Throw*): una vía de entrada y dos de salida (un desviador).
- DPST (*Dual Pole – Single Throw*): un dispositivo con dos vías de entrada paralelas, dotadas cada una de una única vía de salida.
- DPDT (*Dual Pole – Dual Throw*): un doble desviador.
- SPnT (*Single Pole – n Throw*): una vía de entrada y n vías de salida (que se denomina conmutador).
- mPnT (*m Pole – n Throw*): un conmutador múltiple.

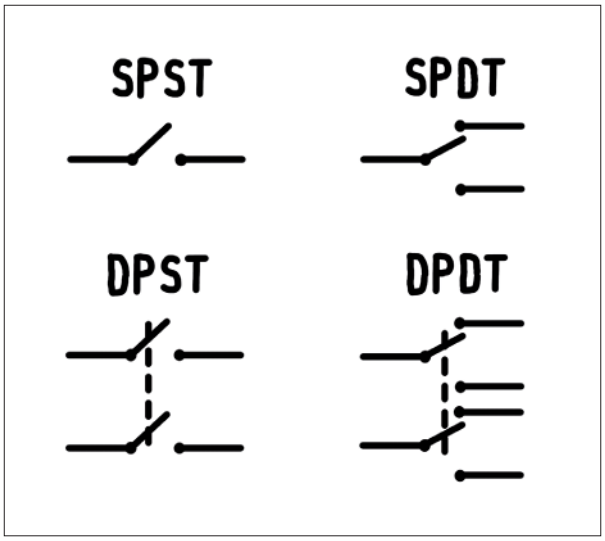


Figura 2.39 – Tipos de interruptores y desviadores.

Estos dispositivos son todos de tipo mecánico y, aunque están fabricados con especial cuidado para evitar que tanto el polvo como la suciedad se introduzca en ellos, tras un cierto número de accionamientos deben ser sustituidos. Los muelles, con el tiempo, también pueden ir perdiendo fuerza. En cualquier caso, la vida de un pulsador es de varias decenas o centenas de miles de accionamientos y puede superar la vida del dispositivo electrónico del cual forma parte. En otros casos, en cambio, a causa de las condiciones de uso, esta durabilidad puede reducirse notablemente. Además de la suciedad, también el calor y las vibraciones pueden reducir sensiblemente la vida de estos componentes.

Relé

Un relé es un interruptor controlado eléctricamente que sirve para aislar dos circuitos. Un circuito de baja tensión puede controlar un circuito con corrientes o tensiones elevadas sin que exista un contacto eléctrico entre ambos. Los relés están formados por un interruptor o un desviador accionado por un electroimán. Para crear un electroimán basta con enrollar un cable en torno a un núcleo metálico. Al aplicar una corriente a la bobina, se formará un campo electromagnético que activará los contactos eléctricos dentro del relé. Los electroimanes necesitan mucha corriente para funcionar y provocan efectos no deseados: cuando ya no están alimentados y el relé regresa a su condición de reposo, liberan corrientes secundarias que podrían incluso dañar el circuito de control de baja tensión.

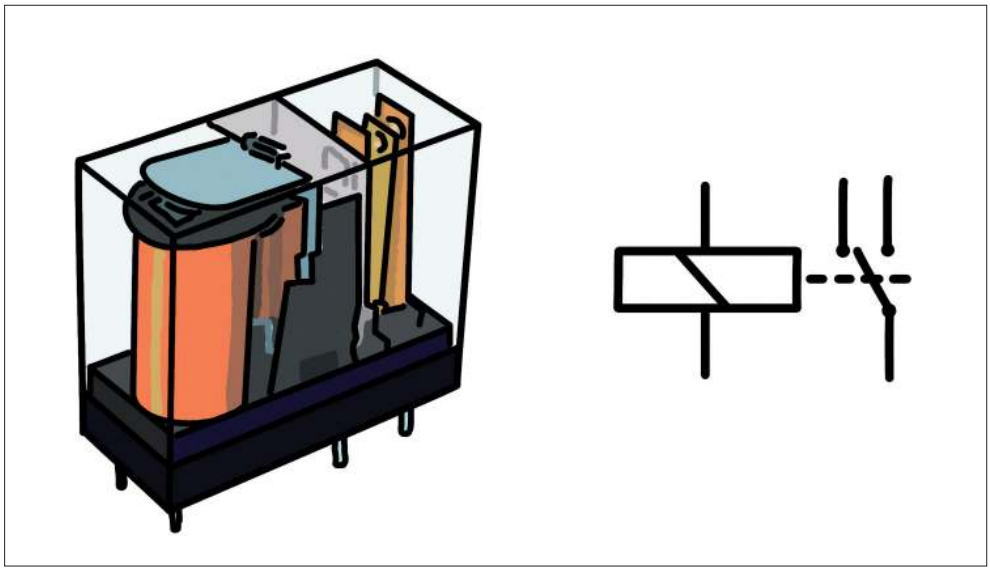


Figura 2.40 – Un relé y su símbolo.

Existen relés que en su interior no tienen un simple interruptor, sino grupos de contactos y desviadores. La configuración de los contactos se indica del mismo modo que para los pulsadores y los interruptores: SPST, SPDT, DTST, DPDT. La disposición de los terminales puede ser bastante compleja, por lo que es aconsejable consultar las hojas de especificaciones. En ocasiones, sobre el cuerpo del relé podemos ver indicada la tensión de alimentación de la bobina, el tipo de contactos y las máximas corrientes y tensiones soportadas. Los relés pueden conmutar tensiones de cientos de voltios, con corrientes elevadas, con valores incluso de decenas de amperios.
Para activar un relé se utiliza un circuito de control que puede fabricarse con un simple transistor (más adelante lo veremos con más detalle).
Aunque se activan en pocas decenas o centenas de milisegundos, los relés son muy lentos comparados con los tiempos electrónicos.
Un tipo especial de relés son los de tipo *reed* o de lengüeta, formados por pequeñas cápsulas de vidrio o material plástico que encierran un interruptor a láminas. El contacto se acciona mediante un simple imán que, si se sitúa en sentido correcto, activa el interruptor. Los interruptores de mercurio son, en cambio, pequeñas cápsulas que contienen dos contactos dentro de una gota de mercurio que hace de conductor. Si se colocan al revés o se inclinan con un ángulo determinado, el mercurio se desplaza y el contacto se cierra.

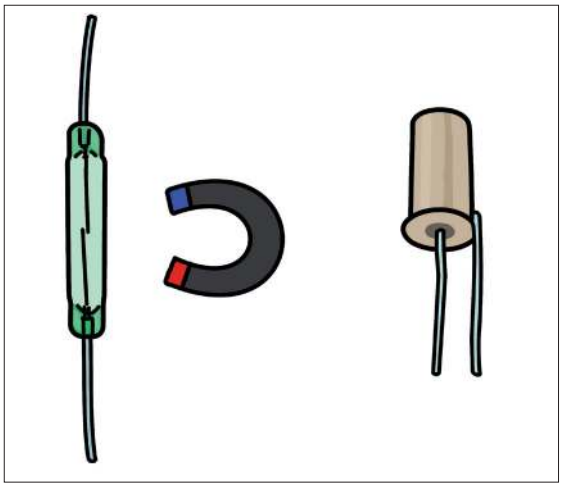


Figura 2.41 – Una cápsula de lengüeta accionada por un pequeño imán permanente y un interruptor de mercurio.

Para aplicaciones especiales donde sea necesario ocupar poco espacio, conmutar rápidamente y consumir poca energía, se pueden utilizar interruptores de estado sólido. Estos dispositivos son, en realidad, circuitos integrados diseñados para que se comporten como interruptores o desviadores. No pueden ser utilizados con corrientes y tensiones elevadas y son adecuados para las conmutaciones de señales de amplitud débil, continuas o variables.

Los optoacopladores parecen pequeños chips: contienen un led y un fototransistor colocados uno frente al otro. Al encender el led se activa el fototransistor que se utiliza como si fuera un interruptor. Los optoacopladores tampoco se utilizan con grandes corrientes, sino para señales pequeñas. Son muy apreciados en casos en que sea necesario separar eléctricamente dos circuitos. De hecho, entre el led y el fototransistor no existe ninguna parte en común o en contacto eléctrico. De este modo, hay una separación completa y se evita que tanto interferencias electromagnéticas como ruidos no deseados se transmitan de un circuito a otro.

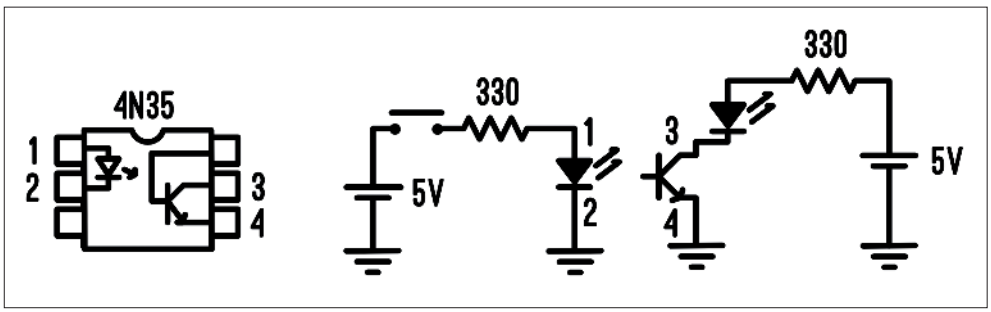


Figura 2.42 – El 4N35 es un conocido optoacoplador: su símbolo y un ejemplo de uso.

Para activar un optoacoplador, es preciso proporcionar al led la tensión y la corriente correctas, conectando una resistencia de un valor comprendido entre 0,5 y 1 kΩ y para un voltaje de 5 voltios.

Motores

Los motores eléctricos transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Son dispositivos formados por imanes y electroimanes, por lo que requieren corrientes de una cierta intensidad para funcionar. El modelo de motor más sencillo es el de corriente continua (c.c.), muy utilizado hace un tiempo en grabadoras de cintas de casete y cámaras de vídeo. En su interior había dos elementos: el estator y el rotor. La parte en movimiento, el rotor, es un electroimán. El estator, en cambio, es un imán permanente y está integrado en el cuerpo del motor. El principio utilizado es el de los imanes que se atraen y se repelen según su orientación. Un sistema de cepillado alimenta el rotor para que se encuentre siempre en contraste con el estator y se produzca así una repulsión entre ambos: esta condición es la que lo hace girar. Las escobillas tocan una serie de contactos que magnetizan el rotor con polarizaciones alternas. Con este ingenioso mecanismo, el motor se alimenta con una sencilla corriente continua.

Al arrastrarse sobre los contactos del rotor, las escobillas pueden generar chispas y, por lo tanto, interferencias electromagnéticas. Para evitar estas interferencias se pueden utilizar motores sin escobillas, con los cuales no se producen contactos chispeantes y una serie de electroimanes rodean el rotor. Los imanes se activan en secuencia y hacen girar el motor. Estos dispositivos se alimentan mediante dos simples hilos.

Para regular la velocidad de los motores en c.c. no podemos sencillamente modificar la tensión y la corriente de funcionamiento. Para funcionar, el motor requiere una tensión y una corriente muy precisas. La regulación se lleva a cabo aplicando una señal de tipo PWM que enciende y apaga el motor muchas veces en un segundo, obteniendo así la velocidad deseada.

El control de los motores puede ser realizado con dos simples transistores, o puede ser simplificado con el uso de circuitos especiales denominados *controladores* (en inglés, *drivers*), que permiten regular la velocidad e invertir la dirección de rotación. Los controladores se fabrican con grupos de transistores o con circuitos integrados especiales. Están controlados por señales a baja corriente, manteniéndose separados de las fuertes corrientes necesarias para el accionamiento del motor.

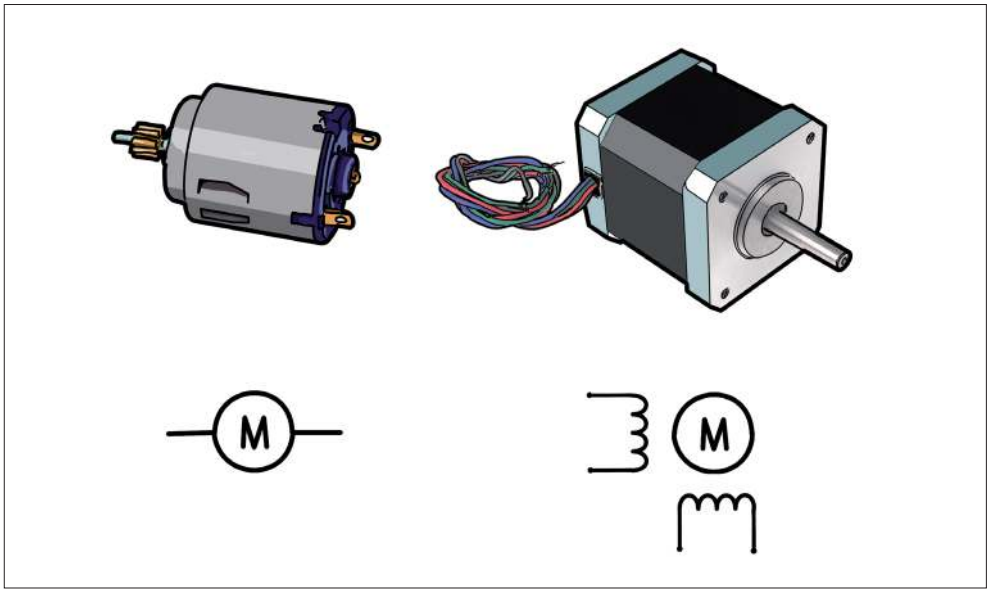


Figura 2.43 – Un motor en c.c y un motor paso a paso con sus símbolos eléctricos.

En los motores paso a paso, el rotor no gira libremente, sino que ejecuta un paso (*step*) cada vez. En su interior hay una serie de electroimanes conectados entre sí. Para hacer que el eje del motor gire, debemos alimentar los grupos de electroimanes en la secuencia correcta. Estos motores se reconocen porque tienen cuatro, seis u ocho cables de alimentación. Para accionarlos es preferible utilizar un circuito de control (*driver*) que se ocupe por nosotros del encendido de los electroimanes. Los motores paso a paso se utilizan mucho en robótica y automoción industrial porque son precisos. La rotación mínima puede ser incluso de fracciones de grado.

Servomotores

Un servomotor (también conocido como RC Servo, donde RC significa *Remote Control* porque se utilizan en el modelismo controlado por control remoto) es una pequeña caja dotada de un pasador dentado capaz de girar. La rotación no es completa, pero llega a un máximo de 180°/270° según el modelo. Los servomotores alcanzan la posición configurada y la mantienen.

Dentro de un servomotor hay:

- un motor en corriente continua;
- un potenciómetro — utilizado para detectar la posición del motor;
- un conjunto de engranajes — para conectar el potenciómetro y el motor y para aumentar la potencia mecánica del dispositivo desmultiplicando el motor;

- un pequeño circuito de control — que recibe la señal de control, acciona el motor y detecta su posición leyendo el potenciómetro.

Hay tres cables que sobresalen del servomotor: el rojo y el negro sirven para la alimentación y el tercero, amarillo o naranja, se utiliza para la señal de control.
Estos dispositivos son capaces de desarrollar fuerzas notables, que se miden como pareja y, por tanto, se expresan en kgm. Un servo con una pareja de 2 kgm es capaz de levantar un peso de 2 kilogramos unido a una varilla de 1 metro conectada a su pasador. Si reducimos la distancia de la varilla hasta medio metro, conseguiremos levantar cuatro kilos a 50 centímetros.

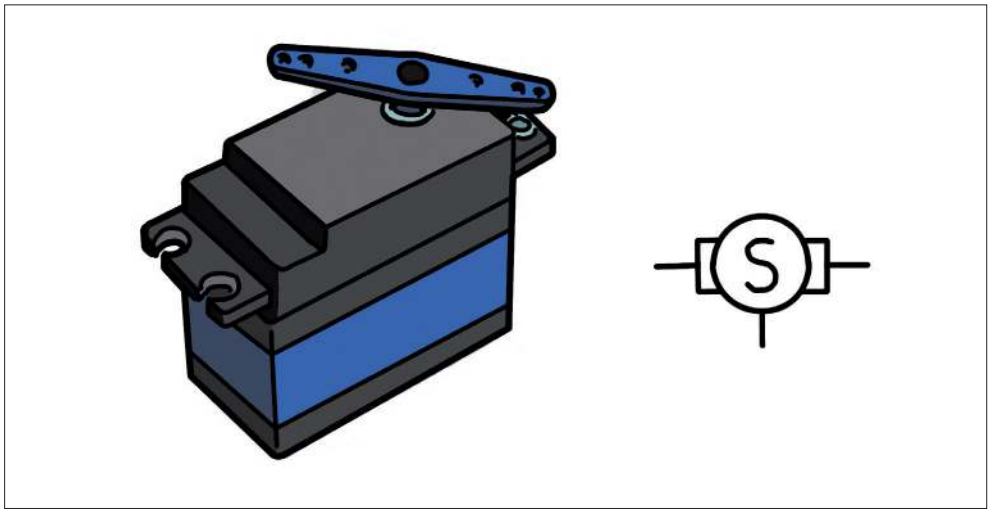


Figura 2.44 – Un servomotor y su símbolo eléctrico.

La señal de control debe respetar unos tiempos precisos. La señal normalmente puede ser de 0 o 5 voltios. Para llevar el servo hasta la posición de 0° debemos crear una secuencia de impulsos de 5 voltios, separados por 20 milisegundos y con una duración de 1 milisegundo. Si aumentamos la duración del impulso, el eje del servomotor se desplazará desde los 0° hasta su valor máximo, por ejemplo, 180° para impulsos con una duración de 2 milisegundos.

Altavoces

Existen múltiples dispositivos capaces de convertir una señal eléctrica en sonido. El más común es el altavoz dinámico, en que la corriente pasa por una bobina colocada sobre un imán permanente sobre el cual puede circular. La bobina se conecta a una

membrana. Al aplicar una corriente, la bobina se desplaza y provoca el sonido. Para encender un altavoz se necesita cierta cantidad de corriente que procede de circuitos de potencia.
Las características de los altavoces son:

- La impedancia: es la resistencia que ofrece el altavoz. Se expresa en ohmios y tiene valores muy bajos (4, 8, 16).
- La potencia: es la máxima señal que puede soportar el altavoz sin dañarse.
- La gama de frecuencias: los altavoces de grandes dimensiones generan mejor las bajas frecuencias y se denominan *woofer*. Los altavoces para altas frecuencias de denominan *tweeter* y los que se sitúan en medio *mid-range*. Para cubrir todas las frecuencias se pueden combinar varios altavoces con filtros que dividen las frecuencias (filtros *crossover* o de cruce).

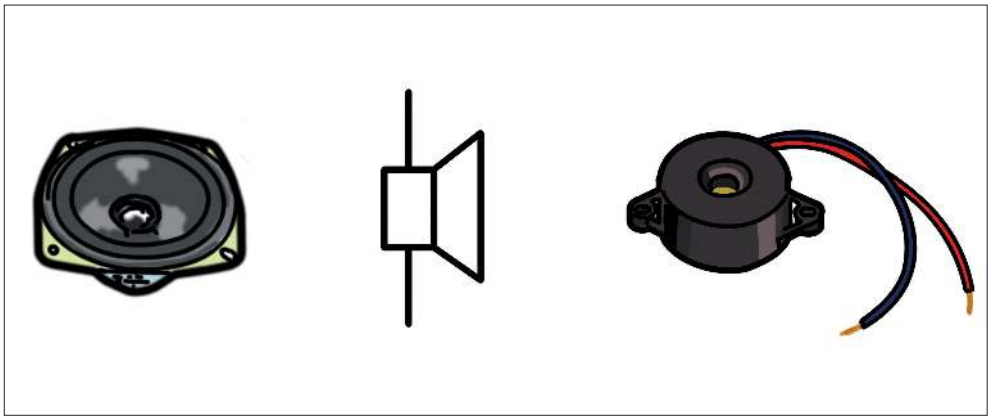


Figura 2.45 – Un altavoz de membrana y su símbolo (a la izquierda), y un zumbador piezoeléctrico (a la derecha).

Para poder producir sonidos, también podemos utilizar generadores piezoeléctricos y zumbadores. Los piezoeléctricos utilizan la propiedad que tienen algunos materiales de modificar su propia estructura mecánica cuando son atravesados por corrientes eléctricas. Aunque no son dispositivos muy potentes ni tienen respuesta en frecuencias de sistemas Hi-Fi, resultan perfectos para generar simples bips.
Los zumbadores son dispositivos electromecánicos, parecidos a los relés, que crean un sonido vibrante; un pequeño electroimán pone en movimiento una membrana que produce un zumbido. Los zumbadores son simples indicadores y su sonido no se puede modificar.

Micrófonos

Un micrófono convierte las vibraciones mecánicas en una señal eléctrica. El funcionamiento es el opuesto al de un altavoz; las vibraciones sonoras hacen que una bobina inmersa en un campo eléctrico se mueva, la cual genera una corriente proporcional al sonido captado. Para tener buenas sensaciones, los dispositivos deben ser muy eficientes. Un tipo de micrófono usado en los teléfonos de antes utilizaba granos de carbón que, sacudidos mecánicamente, variaban la resistencia de la cápsula en la cual se encontraban. Otros tipos de micrófono utilizan unas finas láminas sumergidas en campos magnéticos o eléctricos. Los micrófonos de condensador y los electret están construidos con el mismo principio de un condensador. Una de las armaduras está conectada a la membrana del micrófono y, al vibrar, produce una señal eléctrica.

En los micrófonos de cinta, la detección de la señal se realiza con una fina lámina metálica situada dentro de un campo magnético.

Las señales que proceden de un micrófono son siempre muy débiles y necesitan un amplificador para ser utilizadas.

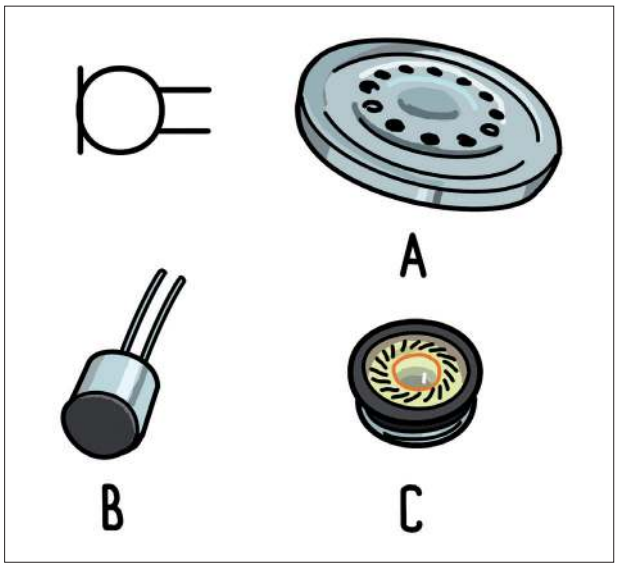


Figura 2.46 – Símbolo del micrófono y cápsulas microfónicas de varios tipos: de granos de carbón (A), electret (B) y de membrana (C).

Todos los micrófonos presentan en sus terminales una resistencia característica denominada impedancia. Existen micrófonos de baja impedancia con unos valores menores de 500 ohmios. Los micrófonos de alta impedancia presentan resistencias de entrada de algunas decenas de kiloohmios.

La impedancia depende del modo en que el micrófono ha sido fabricado. Este hecho debe tenerse en cuenta cuando se conecta el dispositivo a un amplificador y se hace lo que se llama un acoplamiento de impedancia (*matching*). Si el micrófono tiene una impedancia baja, se debe conectar a una fase con entrada para alta impedancia, para que la fase no absorba corriente y, así, anule la señal.
Si el micrófono es de alta impedancia y lo conectamos a una entrada de baja impedancia, anularemos la señal. Existe una regla empírica que dice que el micrófono debería conectarse a un amplificador con una impedancia al menos diez veces superior.
Las características de los micrófonos son:

- Respuesta en frecuencia — algunos micrófonos son más sensibles ante ciertas gamas de frecuencias, mientras que otros perciben mejor las bajas frecuencias y los hay más sensibles a las altas frecuencias.
- Sensibilidad — es la eficiencia en la transformación de la presión sonora en una tensión de salida.
- Direccionalidad — indica si el dispositivo es, por ejemplo, direccional o si puede captar sonidos en distintas direcciones. A veces, la direccionalidad se representa en diagramas, que para los micrófonos omnidireccionales tienen forma de corazón.
- Impedancia — es la resistencia que ofrece el micrófono.

Soluciones

Ejercicio de lectura de los resistores

rojo, rojo, marrón = 2 2 1 = 2 2 0, es decir, 220 Ω.
marrón, negro, negro = 1 0 0. La tercera banda es negra y, por tanto, debemos añadir cero ceros: 10 Ω.
marrón, negro = 1 0. Este es un caso especial: esta resistencia vale 1 Ω.

Cálculo de la red resistiva de la figura 2.16

La resistencia de la red es igual a 933 Ω.

3

Construir circuitos

La mayor dificultad para aquellos que quieren aprender a construir circuitos es saber cómo pasar de la teoría a la práctica, es decir, cómo transformar el diseño de un esquema eléctrico en un circuito real y funcional.

Un músico coloca su partitura en el atril, se sienta delante y coge su instrumento. Entorna un poco los ojos recorriendo las notas en el pentagrama y su mirada se desliza velozmente tratando de captar el sentido general de la canción. Tras un profundo respiro, la música llena la estancia. Cada una de las pequeñas manchas que descansan sobre las cinco líneas se transforma en un sonido. No todos los músicos reproducirán la canción del mismo modo y alguno podrá adoptar una interpretación particular: frívola o dramática, lenta o rápida, fría o apasionada.

Igual que el músico, nosotros los electrónicos debemos aprender a leer nuestras partituras, que son los esquemas eléctricos: una serie de símbolos unidos por líneas y acompañados de textos, notas y siglas.

Cuando no se conoce la finalidad del circuito, es preciso tomarse un poco de tiempo para realizar algún cálculo y entender el funcionamiento, para saber cómo se comportan las corrientes, las tensiones y cómo actúan las partes.

Para construir el circuito cada símbolo debe ser traducido en un componente real y, a menudo, la cosa no es inmediata, porque no todos corresponden exactamente a su propio símbolo; algunos tienen más patillas, otros tienen terminales dispuestos de forma distinta. Las partes reales tienen un tamaño y unas dimensiones que los símbolos no tienen en cuenta. Ello obliga al electrónico a investigar cuál es la mejor

manera de disponer los elementos, analizando distancias y conexiones. Veamos qué instrumentos utilizaremos para construir nuestros prototipos.

El taller y las herramientas

El taller es el lugar donde el artesano crea sus obras. Es el sitio donde las ideas toman forma. Busquemos en nuestra casa un rincón donde dedicarnos a nuestra pasión. Una mesa o una habitación en la cual distribuir los instrumentos, las herramientas y los componentes donde trabajar sin ser molestados. El puesto de trabajo debe ser espacioso para trabajar con comodidad. Cuando se trabaja en el desarrollo de un circuito, se llevan a cabo varios intentos y poco a poco la mesa se va llenando de placas, componentes, instrumentos, cables y piezas. ¡Tratemos de ser ordenados! La experiencia me ha enseñado que limpiar la mesa de trabajo ayuda también a limpiar la cabeza. En ocasiones, cuando me encuentro estancado en un proyecto, poner orden en la mesa me ayuda a aclarar las ideas y a encontrar nuevas soluciones.

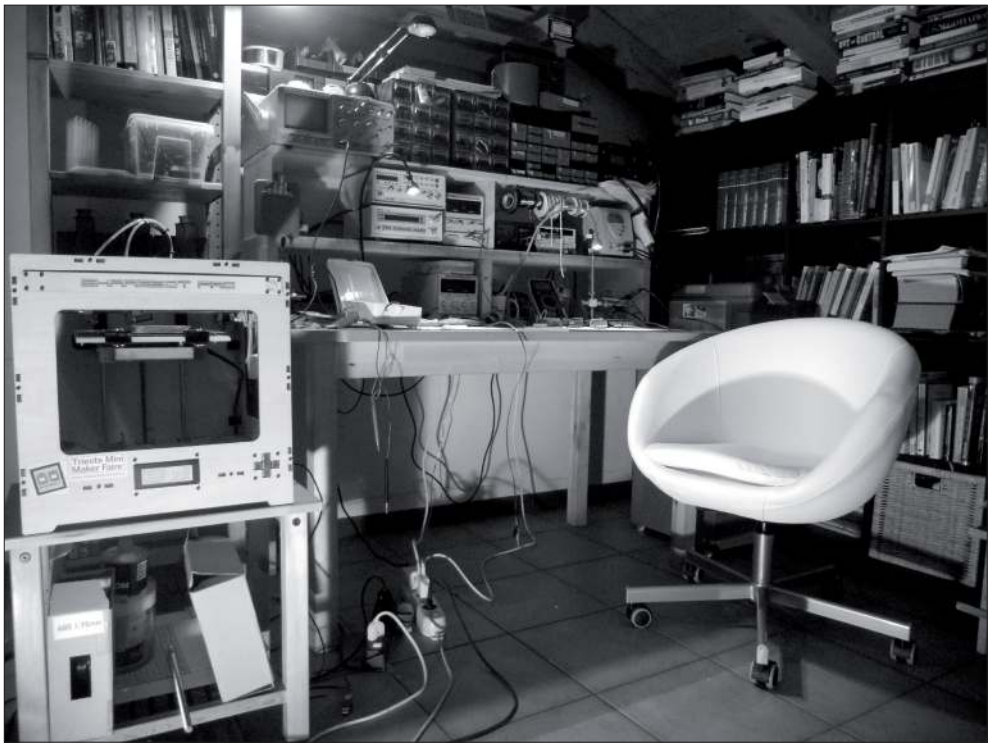


Figura 3.1 – Mi taller electrónico.

Los instrumentos necesarios para construir los primeros circuitos no son muchos. En alguna situación extrema he conseguido hacerlo todo con mi navaja suiza, pero para hacer bien un trabajo se necesitan los instrumentos justos y, cuanto más adecuados son y mejor es su calidad, mejor será el resultado y menor el cansancio.

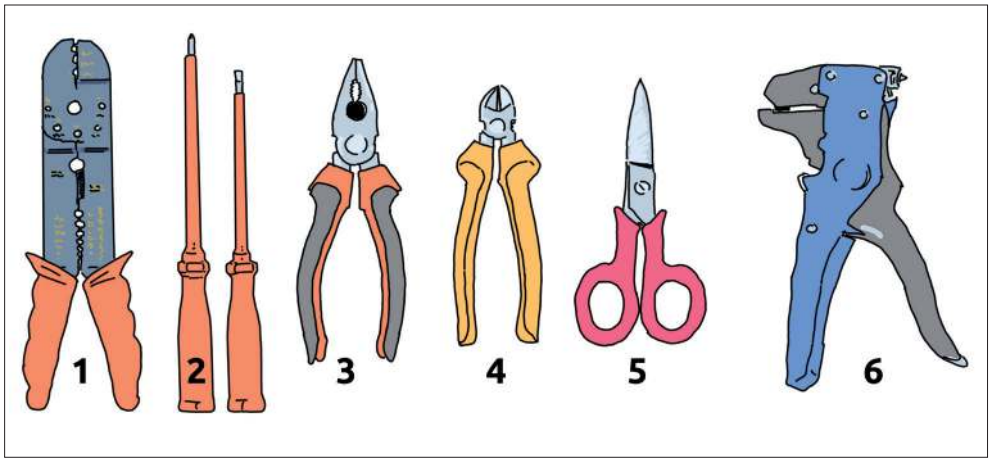


Figura 3.2 – Herramientas para trabajar: (1) pelacables, (2) destornilladores, (3) pinza de electricista, (4) alicates, (5) tijeras, (6) pinza pelacables automática.

Esta es una lista de herramientas (casi) imprescindibles:

- Planta de trabajo — si elegimos una mesa común, debemos proteger la parte superior con una tabla de madera compensada o similar. La mesa debe estar bien iluminada. En mi taller, he añadido algunas luces de led con el pie flexible para iluminar la zona de trabajo.
- Un surtido de destornilladores — de estrella y de punta plana pequeños y medianos.
- Un par de tijeras — para cortar cables e hilos, mejor si son de electricista porque a menudo cuentan con un elemento pelacables.
- Una pinza de electricista — se utiliza para apretar tuercas, para pelar los cables eléctricos o para cortarlos con las pequeñas tijeras de que dispone.
- Unos alicates — de electricista, para cortar los terminales rígidos.
- Una pinza pelacables — si sabemos pelar los cables con los alicates o la pinza, no necesitaremos esta herramienta. Existen pinzas automáticas que se utilizan para pelar muchos cables de sección medio-grande.
- Una lente de aumento — los componentes son muy pequeños y los textos escritos sobre ellos son casi invisibles. Yo utilizo un monóculo de joyero, de aque-

llos que se fijan sobre las gafas. ¡Aumenta espectacularmente bien y es cómodo y económico!

- Una placa de pruebas o *breadboard* — es una placa con orificios y dotada de contactos eléctricos que se utiliza para construir circuitos sin tener que soldar. Los componentes se introducen en los orificios y se conectan con simples cables eléctricos. Construir un circuito es tan sencillo como jugar con las piezas de LEGO.
- Cables y *jumpers* — procurémonos algunos carretes de cable eléctrico de distintos tipos (con el núcleo flexible y de distintos tamaños). Si trabajamos mucho con placas de pruebas, es recomendable tener unos cuantos *jumpers* o saltadores, que podemos construir soldando fragmentos de cable rígido en cables flexibles. ¡Son muy prácticos!
- Un tester o un multímetro que pueda medir tensiones, corrientes y resistencias.

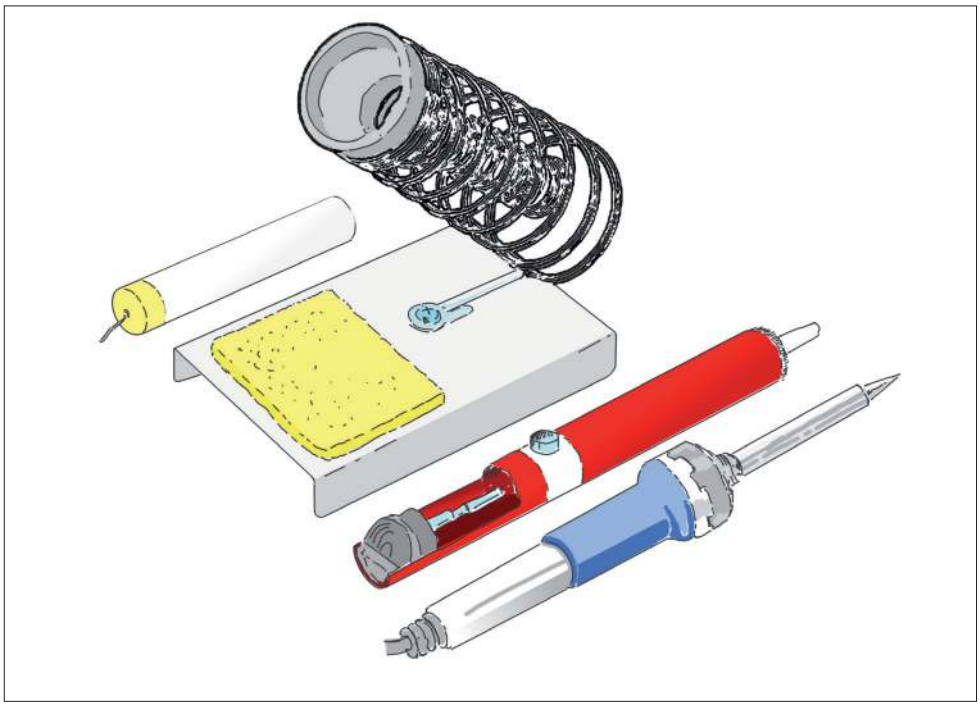


Figura 3.3 – Herramientas para soldar: un soldador, una bomba para aspirar el estaño, un soporte de muelle para soldador con esponja para limpiar la punta y un carrete de estaño.

Para soldar necesitaremos:

- Soldador de 20/30 vatios — se puede comprar en línea o en cualquier tienda de bricolaje. El precio va de diez euros en adelante. Es recomendable comprar

productos reconocidos (Weller, Ersa, Philips, etc.). Los soldadores más baratos, tras unas cuantas horas de trabajo, quedan inservibles porque la punta se consume completamente. Yo tuve un Ersa que duró unos diez años; lo dejaba encendido durante jornadas enteras y le sustituí la punta después de siete años. Cuando el Ersa me dejó, compré un Philips que todavía funciona después de veinte años. Si queremos invertir un poco más de dinero, podemos comprar una estación de soldadura con control de temperatura. Las mejores estaciones de soldadura valen unos cien euros. Yo tengo una con el control de temperatura digital que me costó cien euros y de la cual estoy plenamente satisfecho.

- Desoldador — es un pequeño cilindro con un muelle para espirar el exceso de estaño.
- Esponja natural — humedecida, se utiliza para limpiar la punta del soldador. Las esponjas sintéticas no son adecuadas porque, con el calor de la punta, se derretirían.
- Estaño — hasta hace poco se utilizaba una aleación compuesta de estaño y plomo (en proporción 60/40). El plomo facilita la fusión, pero no es muy saludable. Actualmente se pueden comprar aleaciones sin plomo (*lead-free*) que funden a temperaturas más altas. Dentro del hilo de estaño hay unos diminutos orificios llenos de pasta de soldar (rosin). Con el calor, la pasta de soldar se funde y facilita la fusión, ayudando a realizar soldaduras limpias. Aunque los vapores de la pasta no son tóxicos, es recomendable no inspirarlos.
- Tercera mano — está formada por una base que cuenta con dos muelles en los cuales se fija la pieza con que se está trabajando.

Placa de pruebas

Las placas de pruebas son placas con orificios, dotadas de contactos, que se utilizan para construir un circuito rápidamente. Su nombre en inglés (*breadboard*) se debe a un instrumento para cortar formado por una rejilla con agujeros sobre la cual se corta el pan. Una bandeja colocada debajo de la rejilla recoge las migas que se cuelan por los agujeros.

Utilizar una placa de pruebas es como jugar con las piezas de LEGO: en los orificios insertamos los componentes y, si es necesario, se conectan con trozos de hilo. Los cables y los componentes se pueden ubicar donde se desee. Están fabricadas con material de plástico blanco, aunque también existen de colores. La distancia entre los orificios es de 2,54 milímetros: un intervalo muy común en electrónica. Por ejemplo, las patillas de los chips están separadas una de otra por 2,54 mm. Su interior es atravesado por una serie de contactos eléctricos. Existen placas de distintos tamaños.

El modelo más común es la completa, también conocida como *full*, con una longitud de unos veinte centímetros y con una línea doble de alimentación lateral. También existe un modelo con la mitad de la longitud de una *full*, denominado *half*, así como las placas de pruebas minis, con un precio de unos pocos euros y unas dimensiones muy reducidas.

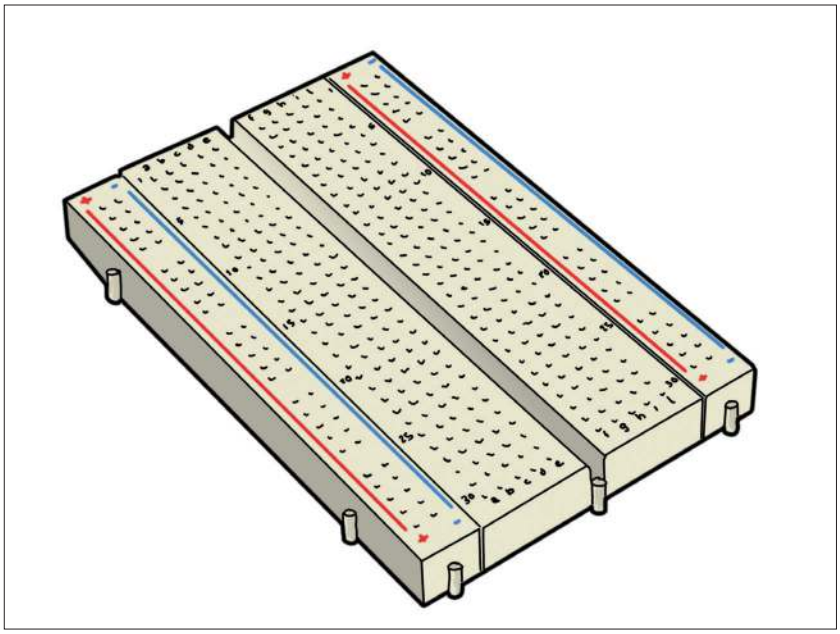


Figura 3.4 – Una placa de pruebas del tipo *half-size*.

Las placas de pruebas están separadas en dos sectores por un surco central. En cada sector hay cinco filas de orificios. Cinco orificios forman una columna y se encuentran eléctricamente conectados entre ellos. Cada columna es como si fuera un tubo formado por una serie de codos en forma de T conectados entre sí. Si hago entrar agua en uno de los codos, todo el tubo se llena y es posible extraer agua de cualquiera de los otros codos. Las columnas de una sección no están en contacto eléctrico con las columnas de la sección opuesta, puesto que se encuentran separadas por el surco central. Algunas placas de pruebas tienen, en sus laterales, dos filas de contactos (raíles) que las recorren longitudinalmente y que con frecuencia se utilizan para la alimentación de los componentes. El surco central sirve para insertar circuitos integrados. Muchas placas de pruebas son compatibles, de manera que se puedan conectar entre sí para crear grandes circuitos. Los prototipos construidos con estas placas no pueden ser muy rápidos. De hecho, los contactos, las capacitancias parásitas y las conexiones por cable limitan la velocidad de los circuitos a un máximo de 10/20 MHz.

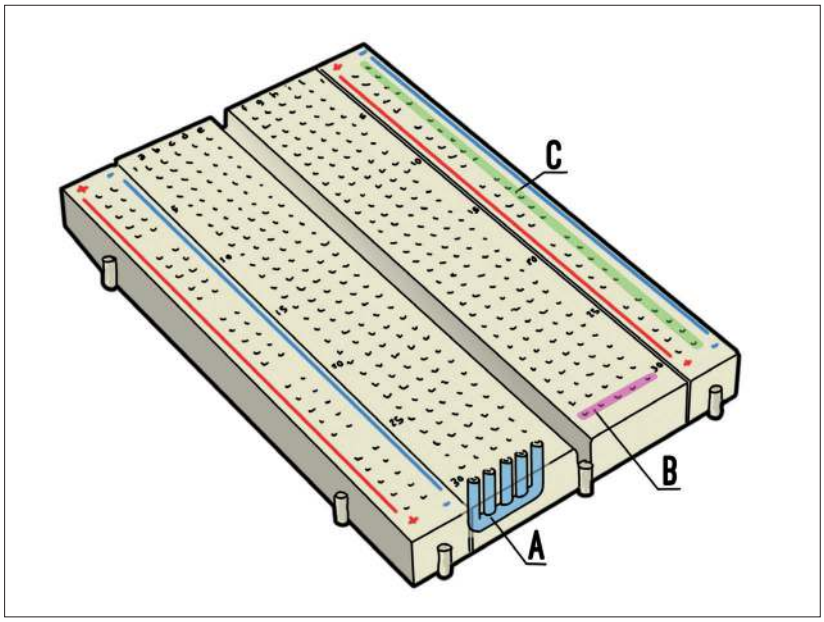


Figura 3.5 – Los cinco orificios de cada fila (B) de la placa de pruebas pueden compararse con una serie de codos en forma de U (A). Por los laterales de la placa discurren los raíles (C).

Para realizar las conexiones podemos utilizar:

- Cables eléctricos con núcleo rígido — que debemos cortar a medida y pelar por sus extremos. El diámetro del núcleo interno debe tener la medida adecuada, porque si fuera demasiado grande correríamos el riesgo de dañar los contactos de la placa, mientras que si fuera demasiado pequeña obtendríamos falsos contactos.
- *Jumpers* — son cables flexibles dotados de unas pequeñas piezas soldadas en sus extremos. Se pueden comprar o fabricar en casa.

El cableado se realiza con conectores flotantes, de forma desordenada y unos sobre otros, lo que facilita la propagación de perturbaciones y hace que el circuito sea indescifrable. Los circuitos fabricados sobre una placa de pruebas son muy precarios y delicados; basta con un zarpazo del gato o el batir de las alas de una mariposa en Nueva York para que deje de funcionar. Cuanto más largos y desordenados sean los cables, más fácil será observar comportamientos extraños.
Para facilitar el cableado, cada columna está numerada y cada fila tiene una letra asignada. Las filas de la primera sección tienen las letras de la A a la E, las de la segunda sección las letras de la F a la J. Las placas *full* tienen unas setenta columnas. Así, especificar dónde insertar los componentes es un poco como jugar a una batalla de barcos: "Inserta la resistencia en A1 y A7", "¡Tocado y hundido!".

Del esquema a la placa de pruebas

Vamos a tratar de construir nuestro primer y sencillo circuito formado por un led y una resistencia, que llamaremos *Hola Mundo*[1]. Para ello, tengamos en cuenta estas sencillas observaciones:

- Un esquema eléctrico no se corresponde con el circuito real.
- Un componente puede ser muy distinto a su símbolo (para ello existen las hojas de especificaciones).
- En un esquema eléctrico, dimensiones y proporciones no cuentan.
- En un esquema eléctrico son muy importantes las conexiones entre componentes.

El esquema que queremos realizar es el que vemos en la figura 3.6; un simple led conectado a una pila con un resistor.

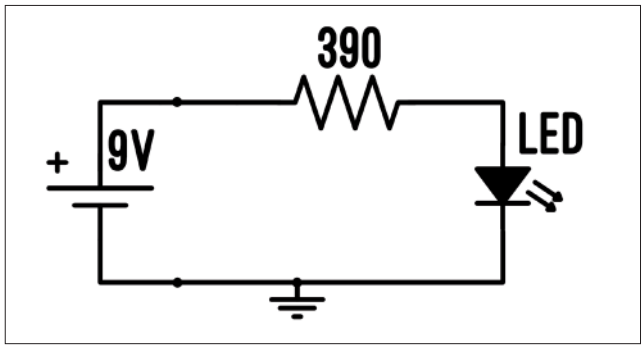


Figura 3.6 – Esquema eléctrico del circuito ¡Hola Mundo!

En el primer capítulo ya hicimos los cálculos para este circuito, por lo que sabemos que las partes que necesitamos son las siguientes:

- 1 led rojo.
- 1 resistor de 390 Ω.
- 1 pila de 9 V.
- 1 clip para la pila de 9 V.
- 1 placa de pruebas *full* o completa con doble fila lateral de pines para la alimentación.
- 2 *jumpers* para las conexiones o dos fragmentos de cable eléctrico con núcleo rígido de unos pocos centímetros de largo. Los fragmentos de cable deben pelarse por ambos extremos unos diez milímetros.

1 Cuando los programadores aprenden un nuevo lenguaje, lo primero que intentan escribir es un simple programa que muestra en pantalla la frase *Hola Mundo*, para comprobar de inmediato lo que han aprendido. El uso se ha extendido incluso fuera del mundo del *software*. En electrónica, lo más sencillo para ver si un sistema funciona es encender un led ¡hola mundo!

En este caso, el circuito es muy sencillo porque está formado por un único anillo. Si el circuito fuera más complejo, es aconsejable tratar de disponer los componentes sobre la mesa o dibujarlos en un papel para encontrar su disposición óptima, que, como ya hemos visto, poco tiene que ver con el esquema eléctrico. Veamos qué debemos hacer para encender nuestro led:

1. Apoyamos la placa de pruebas sobre la mesa de trabajo.
2. Recuperamos la resistencia de 390 Ω, que reconoceréis por las bandas de color naranja - blanco - marrón - dorado.
3. Insertamos los terminales de la resistencia en D5 y D9. La resistencia no tiene polaridad y, por tanto, no importa si la colocamos en un sentido o en otro.
4. Tomamos el led rojo e insertamos el cátodo en el orificio E10 y el otro terminal, el ánodo, en E9, en la misma fila que el terminal de la resistencia. El terminal corto es el cátodo, es decir, el negativo. Podemos identificar el ánodo y el cátodo observando el led en transparencia; el ánodo es el terminal con la forma más pequeña y el cátodo se parece a una especie de palo de golf.
5. Cogemos un *jumper* o un trozo de cable de unos centímetros de largo, pelado por sus extremos, y lo insertamos en A5 y en la fila exterior por la que pasa la alimentación positiva (marcada con una línea roja).
6. Cogemos otro *jumper* y lo insertamos en A10 y en la fila exterior por la que pasa la alimentación negativa (marcada con una línea azul).
7. El clip para la pila de 9 V tiene dos cables flexibles ya estañados. Insertamos el cable rojo al principio de la fila para la alimentación positiva y el negro al principio de la fila para la alimentación negativa.
8. Conectamos la pila.
9. El led debería encenderse: ¡Hola Mundo!

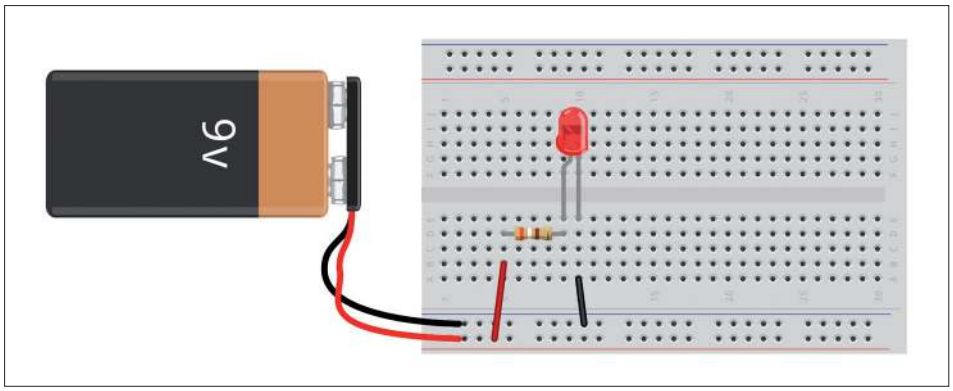


Figura 3.7 – Dibujo del circuito montado en una placa de pruebas. El dibujo ha sido realizado con el *software* Fritzing.

Si el led no se enciende:

- Comprobemos atentamente todas las conexiones. El error más común es el de insertar los terminales de dos elementos adyacentes en dos filas paralelas, en lugar de en la misma. Así, es imposible que la corriente fluya de un componente a otro.

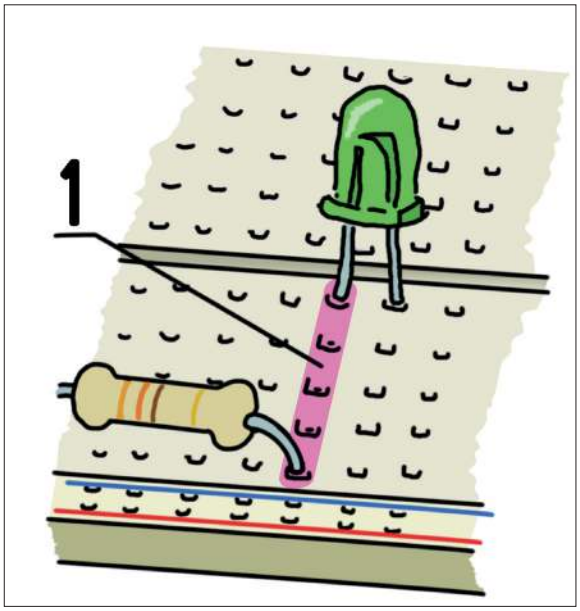


Figura 3.8 – Si el led no se enciende comprobemos que los terminales de dos elementos conectados juntos se encuentren efectivamente en la misma columna.

- Controlemos que cables y *jumpers* hagan realmente contacto (intentemos tocar y separar ligeramente los cables con un dedo).
- Probemos a girar el led, porque es fácil confundirse e invertir el cátodo con el ánodo (es decir, el negativo con el positivo).
- El led podría estar quemado. De ser así, lo sustituimos por uno nuevo.
- La batería de 9 voltios podría estar descargada. De ser así, probemos con una nueva.

Comprobar los contactos

Una de las causas principales del mal funcionamiento de un circuito son los falsos contactos; cables, *jumpers*, conectores y componentes que deberían estar en contacto eléctrico pero que, por alguna razón, no lo están. Para identificar estos problemas, se utiliza la función prueba diodos, presente en casi todos los tester. Esta función sirve para comprobar el funcionamiento de los diodos, que son componentes a través de los cuales la corriente puede circular en un único sentido. Al tocar con las sondas un diodo, si circula por

él la corriente, el instrumento emite un bip. Además de para los diodos, esta útil función se puede utilizar para comprobar la continuidad de los circuitos y de los contactos eléctricos.

Figura 3.9 – Uso de un tester con la función prueba diodos para comprobar la continuidad de un *jumper*.

Usamos la función prueba diodos para comprobar que dos puntas estén en contacto eléctrico:

1. Insertamos la sonda negra en el buje COM.
2. Insertamos la sonda roja en el buje usado para tensiones/corrientes y resistencias.
3. Comprobamos que el circuito o la parte que estamos probando no está alimentada.
4. Tocamos con las puntas de las sondas las dos puntas a comprobar.
5. Si hay contacto, el tester emitirá un sonido.

NOTA

Estas medidas deben realizarse siempre con el circuito desconectado de baterías o alimentadores.

Si nuestro instrumento de medida no dispone de la función prueba diodos, podemos medir la resistencia entre dos puntos; existirá un contacto si el resultado es 0 ohmios.

Componentes con intervalo no estándar

No todos los componentes se pueden insertar en una placa de pruebas. Algunos tienen un intervalo distinto a los 2,54 mm, otros tienen patillas especiales (incluso circulares), otros no tienen los terminales adecuados porque son demasiado gruesos o demasiado finos o totalmente inexistentes, etc. Podrían surgir problemas al conectar altavoces, micrófonos, potenciómetros, relés, conectores, tomas u otras piezas especiales. En estos casos, podemos soldar o fijar a estas piezas cables adecuados de núcleo rígido o *jumpers*.

Para utilizar piezas especiales como pasadores para tarjetas de memoria SD, módems zigbee o componentes SMD se utilizan adaptadores especiales, con pasadores de 2,54 mm, que se pueden conectar fácilmente a la placa de pruebas.

Para conectar un altavoz a la placa de pruebas sin realizar soldaduras, podemos utilizar cables flexibles que debemos pelar por sus extremos unos quince milímetros y, después, enrollar en los contactos de los altavoces y en dos fragmentos de cable de cobre rígido. La parte enrollada se puede proteger con pequeños trozos de cinta aislante.

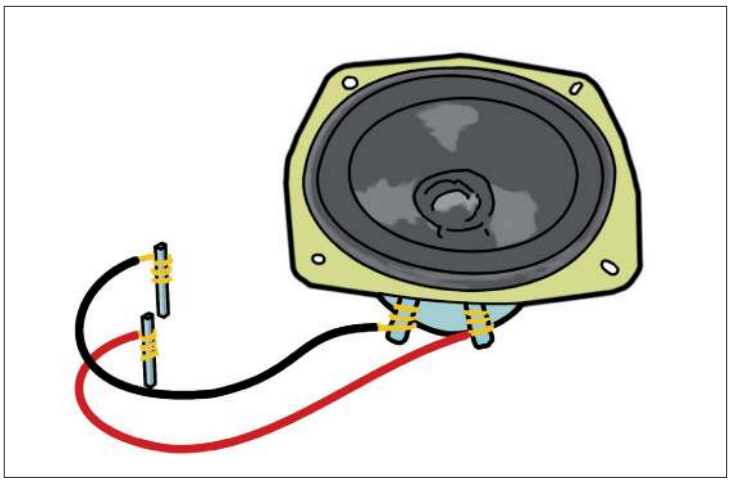


Figura 3.10 – Conexión de un altavoz externo a una placa de pruebas.

Disposición de las líneas de alimentación

Disponer las líneas de alimentación de forma ordenada es el primer paso para fabricar un circuito limpio, que funcione y sin interferencias. Utilizamos para ello las filas de contactos laterales de la placa de pruebas (las de la línea roja o azul). A veces estos contactos no ocupan toda la longitud de la placa, sino que llegan hasta la mitad. Debemos comprobar si los contactos ocupan toda la longitud de la placa y, si es así, los unimos con pequeños puentes.

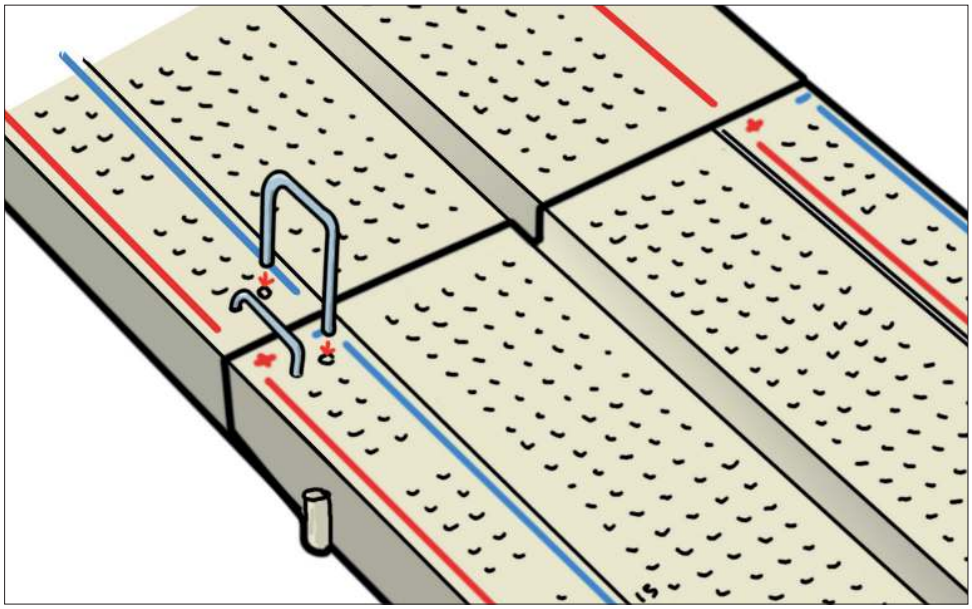


Figura 3.11 – En algunas placas de prueba *full*, los raíles laterales se interrumpen a la mitad. Para prolongar los raíles, utilizamos puentes.

Las dos líneas de orificios rojos y azules situados en un lateral no están conectadas con las dos líneas del lateral opuesto. Si utilizamos una única fuente de alimentación, podemos conectarla a un par de raíles que después conectaremos a las otras dos. Cogemos dos fragmentos de cable (o dos *jumpers*) y los hacemos discurrir de un lado a otro de la placa de pruebas, intentando mantenerlos en la medida necesaria.

Si la alimentación es doble, es decir, si requiere dos tensiones de alimentación distintas (por ejemplo, 5 V y 12 V) o dual (por ejemplo, +5 V y -5 V), conectaremos una línea roja a una tensión, la otra línea roja a la segunda tensión y uniremos solo las líneas azules, conectándolas entre ellas y a los negativos de las dos fuentes de alimentación.

Un circuito puede utilizar distintos voltajes, procedentes de distintas fuentes de alimentación. Por ejemplo, puede ocurrir que tengamos que utilizar Arduino, que funciona a 5 voltios, para controlar una lámpara alógena o motores a 12 voltios o más. No es nada extraño ni peligroso. Lo único que hay que tener en cuenta es que se deben conectar juntos todos los negativos (cables negros) de los distintos alimentadores. Esto es importante porque las tensiones se miden siempre como diferencias de potencial y, al unir los negativos a la toma de tierra, estamos imponiendo que todas tengan una misma referencia común. Si no lo hiciéramos, el circuito podría no funcionar o se producirían comportamientos extraños.

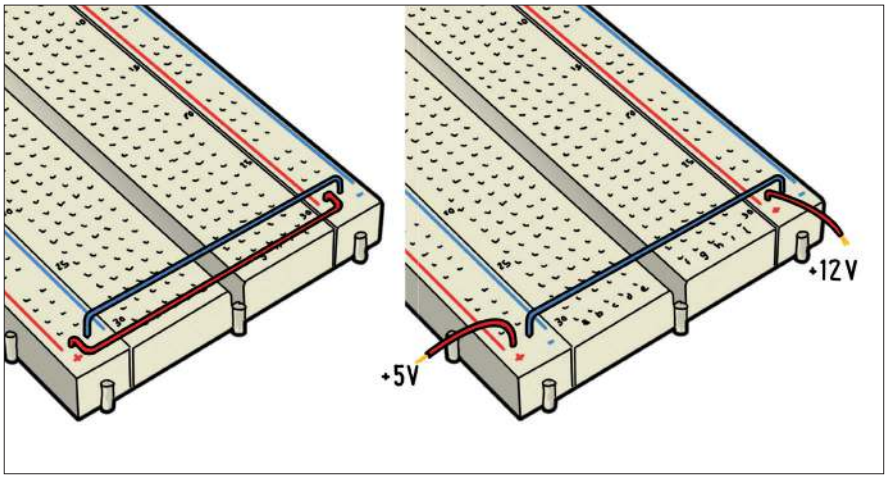


Figura 3.12 – En los circuitos que necesitan una única tensión de alimentación podemos conectar entre sí los raíles de ambos lados de la placa de pruebas. Cuando la alimentación es doble o dual, uniremos solo los raíles de tierra.

En ocasiones, en los esquemas electrónicos, las conexiones a tierra no están indicadas explícitamente y, en lugar de conectar juntos todos los puntos, se dibuja un símbolo de tierra para cada punto. Al realizar el circuito, debemos asegurarnos de conectar realmente entre ellos todos los puntos indicados con el símbolo de tierra. La masa es equivalente al negativo de alimentación, a veces indicado también como 0 voltios. Ahora no es como antes, cuando los circuitos estaban encerrados en una carcasa metálica conectada al negativo.

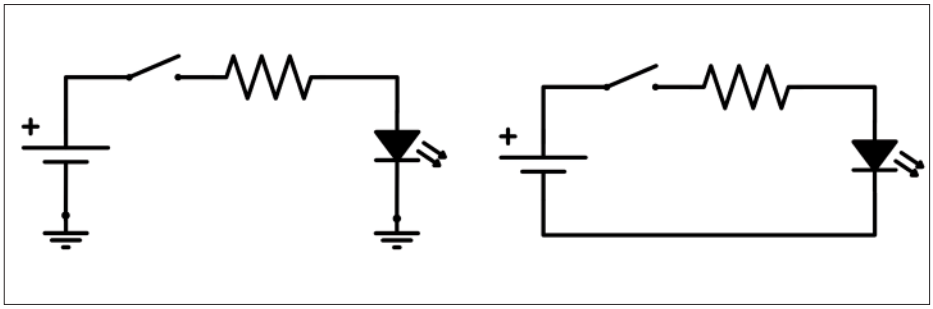


Figura 3.13 – En el circuito de la izquierda las conexiones a tierra se indican de forma especial con el símbolo correcto. En el circuito de la derecha, los símbolos de tierra han sido sustituidos por las conexiones reales.

Condensadores de filtro

Para atenuar eventuales interferencias que podrían circular por las líneas de alimentación, se introducen pequeños condensadores de 100 nF sobre las líneas de alimentación. Es mejor añadir un condensador electrolítico de 50 o 100 µF y un voltaje adecuado. Este condensador atenuará las fluctuaciones y los picos de corriente que podrían darse durante el funcionamiento del circuito. Los condensadores de 100 nF se sitúan también junto a los terminales de alimentación de cualquier circuito integrado. Hace un tiempo ayudé a mi amigo Roberto Alfieri, un productor de cine experto en drones, a terminar su última creación. Roberto había conectado una pantalla para visualizar los parámetros de vuelo, pero al cabo de pocos segundos la pantalla empezaba a mostrar caracteres incomprensibles. Al principio pensamos que el problema se debía al *software* y, por tanto, lo modificamos insertando pausas y controles sobre los caracteres, pero aun así no obtuvimos ninguna mejora. Tras una búsqueda en Internet, encontramos indicios que señalaban hacia problemas vinculados con las interferencias eléctricas. Entonces colocamos un condensador en las líneas de alimentación de la pantalla y, a pesar de nuestro escepticismo, la pantalla empezó a funcionar sin problemas.

Pensar antes de actuar

Es cierto que las placas de pruebas facilitan el prototipado, y que es sencillo meter y sacar componentes, pero siempre es mejor razonar un poco antes de ponerse manos a la obra. Antes de construir un circuito debemos observar los componentes, ver cómo se alimentan y cuál podría ser su mejor disposición. No nos dejemos influenciar por las conexiones propuestas por el esquema eléctrico y tratemos de razonar con las piezas reales; dispongámoslas sobre la mesa de trabajo o dibujémoslas en un papel para intentar encontrar las mejores conexiones. Existen también programas para estudiar la disposición de los componentes en placas de pruebas y de prototipado. El más conocido es Fritzing, que trataremos en los próximos capítulos.

Algunas soluciones de conexión

Estas son algunas soluciones de conexión:

- Conexión de dos componentes en serie: tenemos dos resistencias y debemos conectarlas en serie sobre una placa de pruebas. Comprobamos que los terminales en contacto de ambos resistores se encuentran en la misma fila de contactos. La figura siguiente muestra cómo hacerlo.

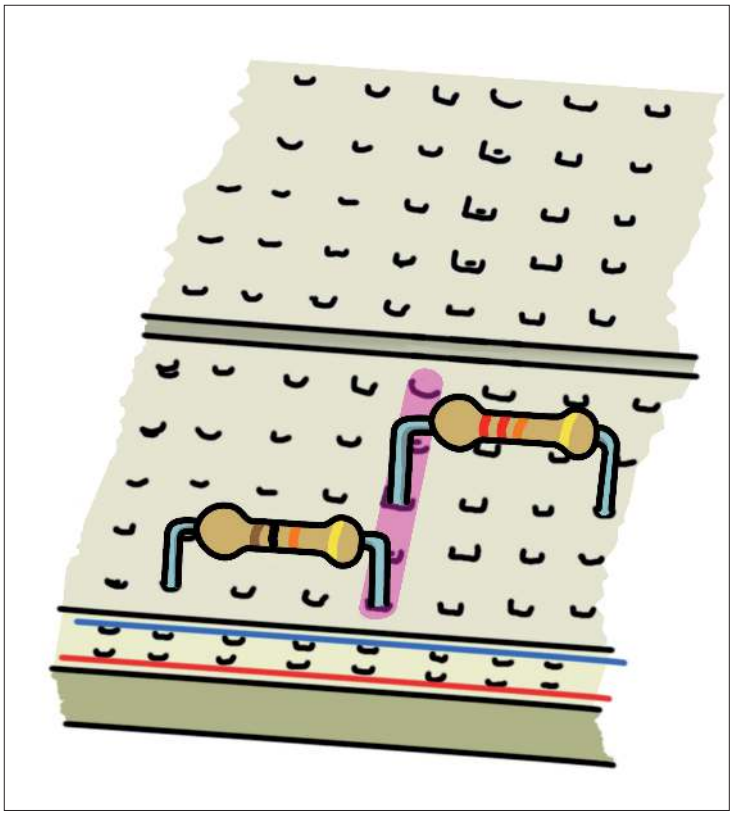


Figura 3.14 – Dos conectores conectados en serie sobre una placa de pruebas.

- Conexión de componentes en paralelo: es posible que tengamos elementos con una longitud igual o distinta. En este último necesitamos un pequeño puente para realizar la conexión en paralelo.
- Aumentar el número de contactos: cada columna de la placa de pruebas tiene solo cinco orificios. Si en un nodo necesitamos un mayor número de contactos, podemos conectar con un puente la columna adyacente para duplicar las posibilidades de conexión.
- Uso de circuitos integrados: los chips se insertan sobre el surco central, añadiendo un condensador de *bypass* conectado a las patillas con alimentación.

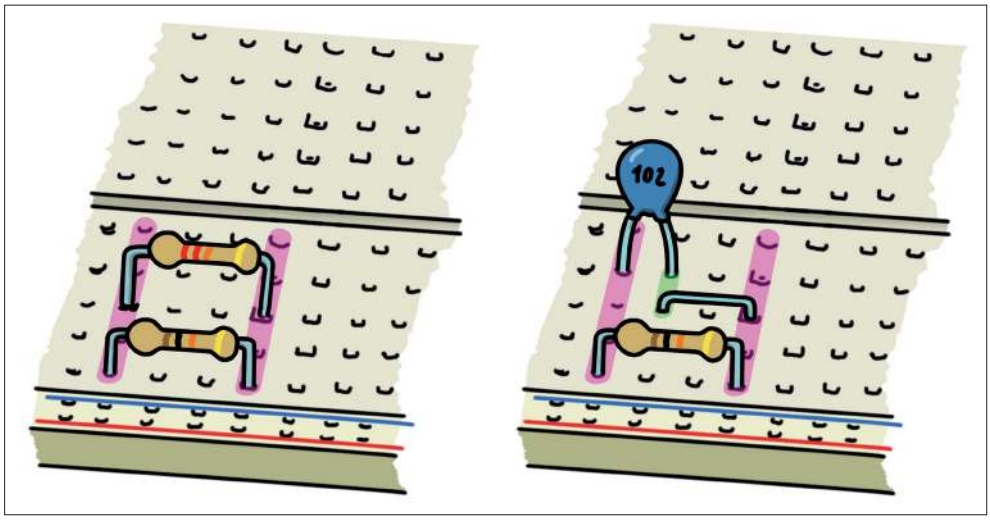


Figura 3.15 – Dos resistores de longitud igual conectados en paralelo y dos componentes de longitud distinta conectados en paralelo con la ayuda de un puente.

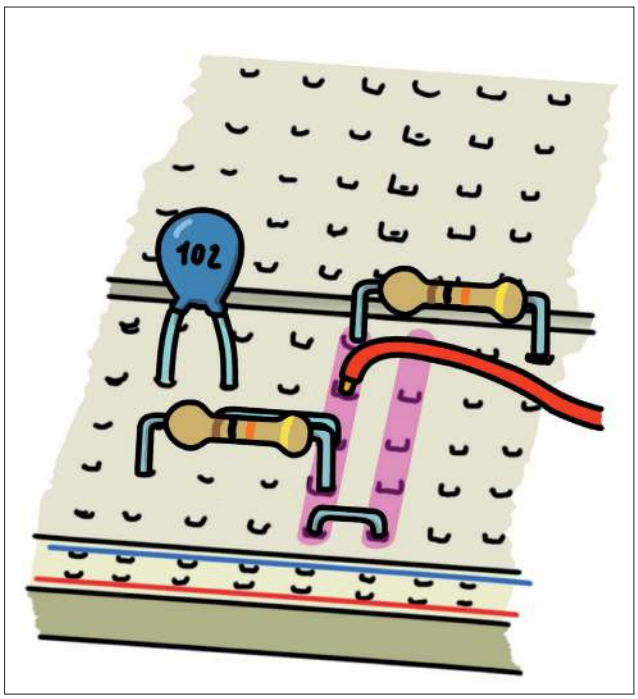


Figura 3.16 – Si unimos dos columnas de contactos con un puente, podemos doblar el número de contactos disponibles sobre el nodo.

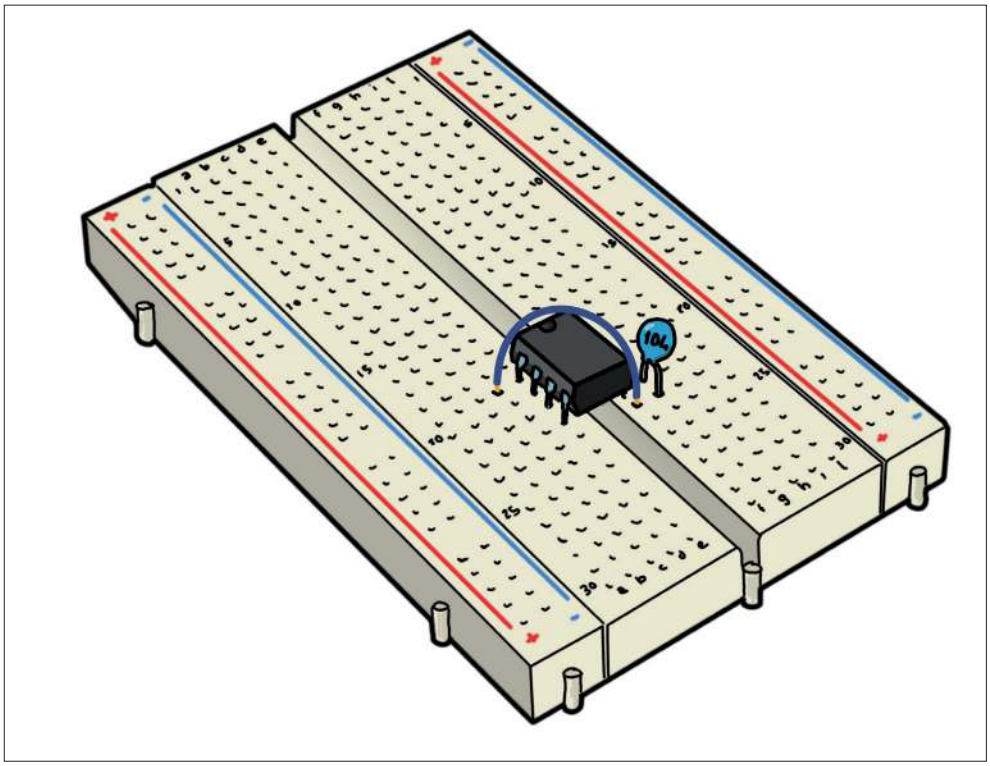


Figura 3.17 – Placa de pruebas con circuito integrado y condensador de *bypass*.

Soldar

Para fabricar circuitos fiables y resistentes debemos utilizar un soldador y fijar los componentes a unas pequeñas placas conocidas como bases, que pueden ser universales y, por tanto, similares a una placa de pruebas, o bien específicas para un uso en particular y, por tanto, dotadas de pistas de conexión (circuitos impresos). Los componentes se sueldan fundiendo una aleación de estaño y plomo y, una vez soldados, no es fácil desoldarlos. Soldar no es difícil ni peligroso si se practica un poco y se está debidamente atento. El soldador es una herramienta con forma de bolígrafo alimentada a 220 V o mediante un alimentador de corriente continua. Un resistor calienta su punta hasta los 300/350 °C. Los soldadores que se utilizan en electrónica tienen potencias en torno a los 25/30 vatios. Con el tiempo la punta se consume y normalmente puede ser sustituida.

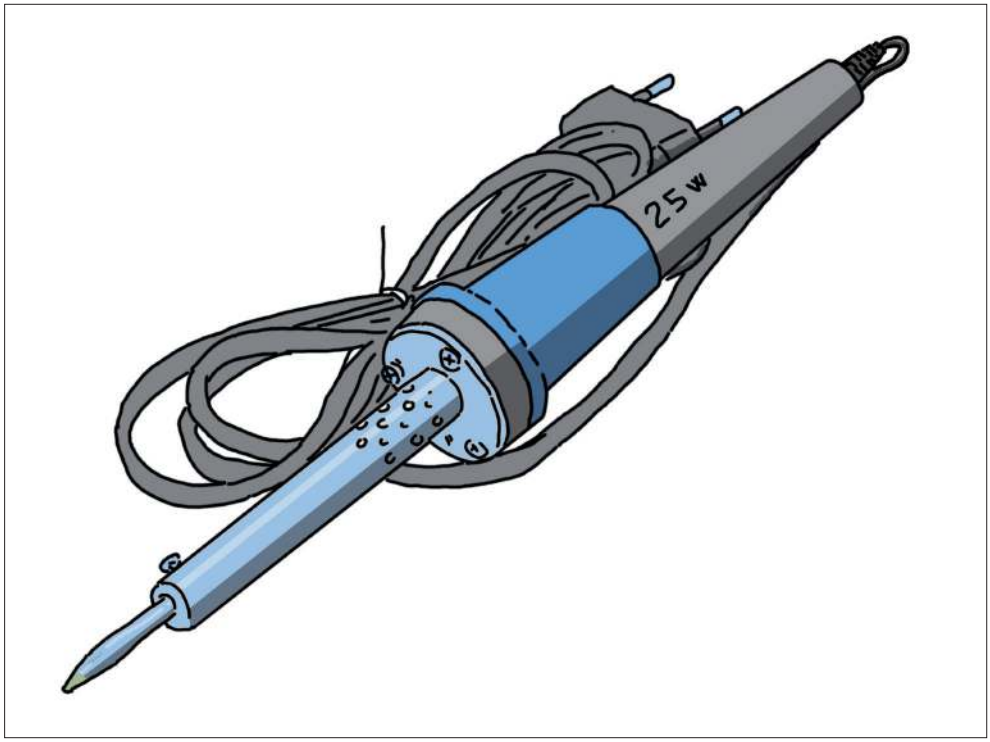


Figura 3.18 – Un soldador de bolígrafo con una potencia de 25 vatios, alimentado a 220 V.

El soldador funde un delgado hilo de metal muy maleable compuesto por una aleación de estaño y plomo. El plomo es un metal contaminante y las últimas directivas sobre el uso de materiales peligrosos (RoHs y RoHs2) intentan desaconsejar su uso. Por este motivo, se intenta utilizar para las soldaduras estaño puro con una cantidad reducida de plomo. El plomo sirve para reducir la temperatura de fusión de la aleación y, cuando se encuentra presente, se indica con una sigla del tipo 60/40, es decir, 60 % de estaño y 40 % de plomo. Los hilos de estaño se venden en carretes y con distintos diámetros. En el interior del hilo hay unos microorificios llenos de flujo (o resina). El flujo sirve para facilitar las soldaduras y mantener limpia la punta del soldador. Cuando el estaño se funde el flujo se evapora y es mejor no respirarlo. Mientras se suelda es aconsejable no comer ni beber para no contaminar la comida con plomo y otras sustancias nocivas. Al finalizar el trabajo hay que lavarse bien las manos.

El soldador necesita dos o tres minutos para calentarse. No debemos tocar la punta con los dedos porque podría causarnos una leve pero molesta quemadura. Para

comprobar si el soldador ha alcanzado la temperatura de trabajo, tocamos con su punta el hilo de estaño; si lo funde, ya podemos empezar. Esta operación sirve para mojar la punta con el estaño, de manera que el calor se transmita más fácilmente a las piezas que hay que soldar. La punta, a 350 °C, está lo bastante caliente como para quemar papel y madera y fundir plástico, por lo que ¡cuidado! El soldador se coge como un lápiz, apoyándolo por el medio y sujetándolo firme con el índice y el pulgar, y apoyamos de forma estable el puño sobre la mesa de trabajo para que la mano no tiemble.

Figura 3.19 – Cogemos el soldador como si fuera un lápiz, sujetándolo entre el pulgar, índice y corazón y apoyándonos sobre la mesa.

Para ayudarnos en las operaciones de soldadura utilizamos la tercera mano: una base donde se conectan dos terminales que se utilizan para bloquear las piezas o el circuito que vamos a soldar. Así, tendremos las dos manos libres y no tendremos

que preocuparnos de mantener la base quieta con los componentes a soldar. Algunos modelos cuentan con lentes de aumento y una luz. Es posible fabricar en casa una tercera mano con dos bloques de madera que cortaremos con una pequeña sierra. En este corte se inserta la base que vamos a soldar.

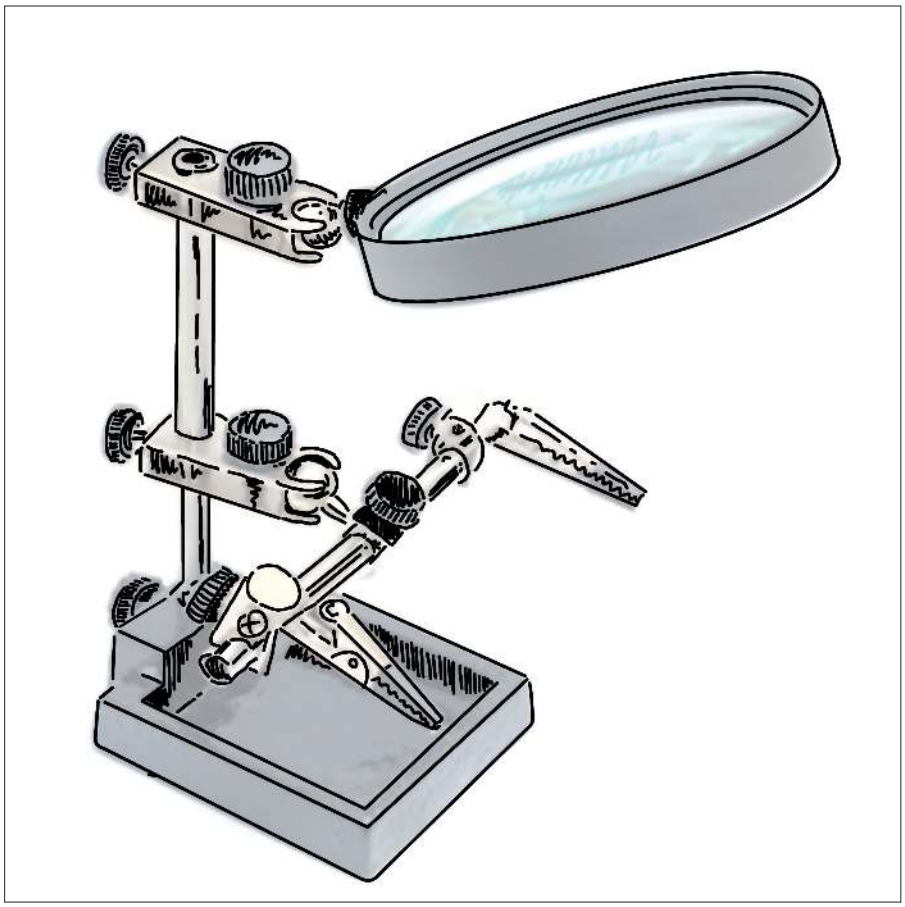


Figura 3.20 – Tercera mano con lente y terminales.

Durante las soldaduras, los terminales y los componentes se calientan mucho, por lo que utilizaremos pinzas o destornilladores. El tiempo necesario para llevar a cabo una soldadura es de dos o tres segundos. Si un componente alcanza una temperatura muy alta, podría dañarse. Para disipar el calor en exceso podemos colocar un destornillador o conectar una pinza de cocodrilo sobre el terminal que estamos calentando.

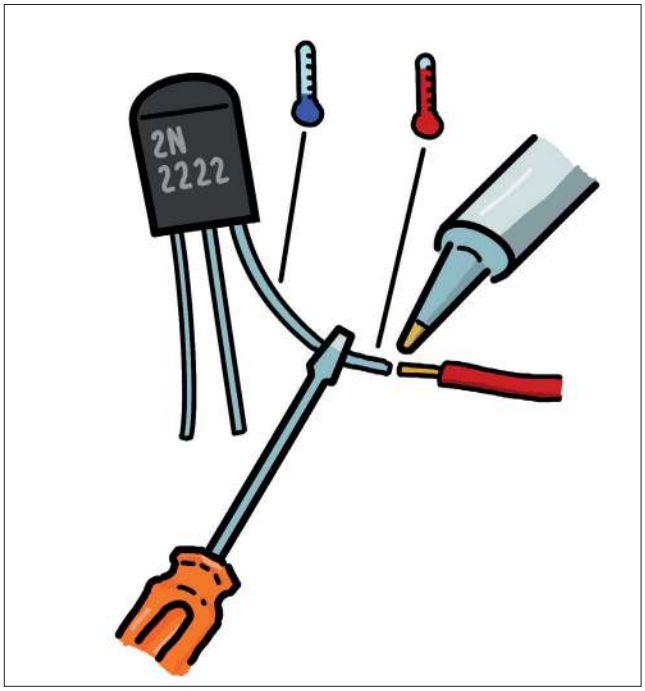


Figura 3.21 – Para disipar el calor en exceso podemos utilizar un destornillador, una pinza o pinzas de cocodrilo.

La esponja humedecida se utiliza para mantener limpia la punta del soldador sobre la cual se crean depósitos de suciedad y escombros. Se puede utilizar una esponja natural o especial, que no se funda con el calor (lo importante es que no sea sintética). Una solución de emergencia es utilizar un simple pañuelo de papel empapado con agua.

Estañar un cable

Los cables eléctricos flexibles, de núcleo trenzado, son más duraderos que los que tienen el núcleo rígido que, si se exponen a esfuerzos, tienden a romperse. El núcleo trenzado, sin embargo, puede dar problemas porque se deshilacha. Podemos estañar la parte pelada del cable mojando la trenza con estaño fundido. La operación es rápida y veloz, veamos cómo hacerlo:

1. Cogemos un cable eléctrico con el núcleo trenzado y pelamos uno de sus extremos unos diez milímetros.
2. Pasamos el núcleo entre el pulgar y el índice, torciéndolo, de manera que el núcleo se atornille sobre sí mismo.
3. Fijamos el cable con la tercera mano y preparamos el estaño y el soldador.
4. Con el soldador tocamos la trenza durante uno o dos segundos cerca de dónde empieza la zona pelada.

5. Con el cable de estaño tocamos la trenza por el lado opuesto.
6. En cuanto el estaño empieza a gotear, movemos la punta y el estaño con decisión y de forma constante para que se desplace por la trenza.
7. Dejamos enfriar el cable y comprobamos el resultado.

Para conseguir una buena soldadura, la regla es:

- primero calentar la parte que hay que soldar y después apoyar el estaño.

Si elegimos primero el estaño y después lo apoyamos sobre el metal frío, costaría más que tomara y no conseguiríamos ni un buen contacto eléctrico ni una soldadura fuerte.

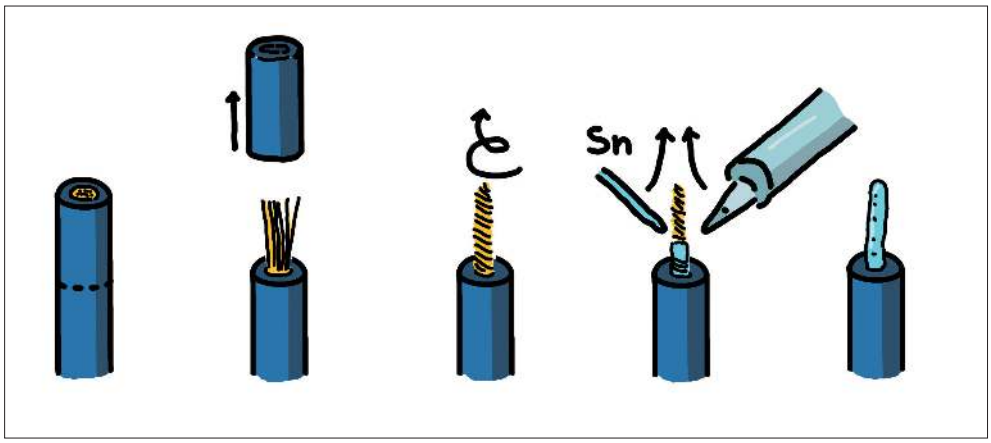


Figura 3.22 – Estañado de un hilo con núcleo trenzado.

Soldar componentes

Veamos ahora cómo soldar un componente eléctrico sobre un circuito impreso o sobre una base para prototipos:

1. Colocamos el componente sobre la base, de manera que sus terminales salgan del lado de las islas, es decir, de los orificios rodeados por un área metálica circular sobre la cual depositaremos el estaño fundido.
2. Bloqueamos el componente doblando ligeramente sus terminales hacia el exterior.
3. Preparamos el soldador y el estaño.
4. Tocamos la isla con la punta del soldador durante dos segundos.
5. Llevamos el cable de estaño hasta que entre en contacto con la isla.
6. En cuanto el estaño empieza a fundirse, esperamos a que se propague por toda la isla y, después, movemos la punta del soldador hacia arriba, sin dejar de tocar el terminal.

La soldadura debe tener un aspecto en punta y estar brillante. Cuando se haya enfriado se pueden recortar los cables con unos alicates, tratando de no cortarlos ni demasiado cerca ni demasiado lejos de la base.

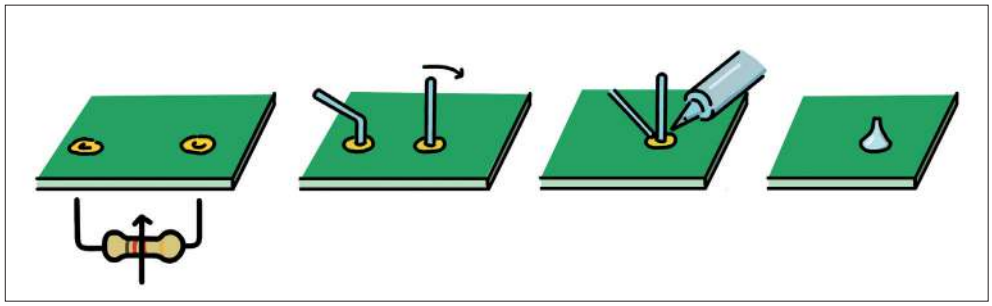


Figura 3.23 – Soldadura de un componente sobre un circuito impreso.

Una vez más, la regla a seguir en este caso es la misma: primero calentamos la isla y el terminal y después aplicamos el estaño. Un error común es el de fundir el estaño en la punta del soldador y después llevar el estaño fundido sobre los componentes. De esta manera, conseguiremos una soldadura fría y defectuosa. Una soldadura mal ejecutada suele tener un aspecto blanquecino o bien en forma de bola o irregular, en ocasiones con agujeros. En estos casos, es posible rehacerla aspirando el estaño con la ayuda de una bomba de desoldar. Las soldaduras blanquecinas también se denominan frías y normalmente se forman cuando el estaño no se ha aplicado correctamente o bien si el terminal se ha movido durante la fase de enfriamiento. A veces los terminales o las islas están oxidados y el estaño no prende bien. En estos casos las soldaduras tienen forma de bola o agujeros. Para resolver estos problemas podemos intentar limpiar los terminales eliminando el estrato de óxido con papel de lija fina.

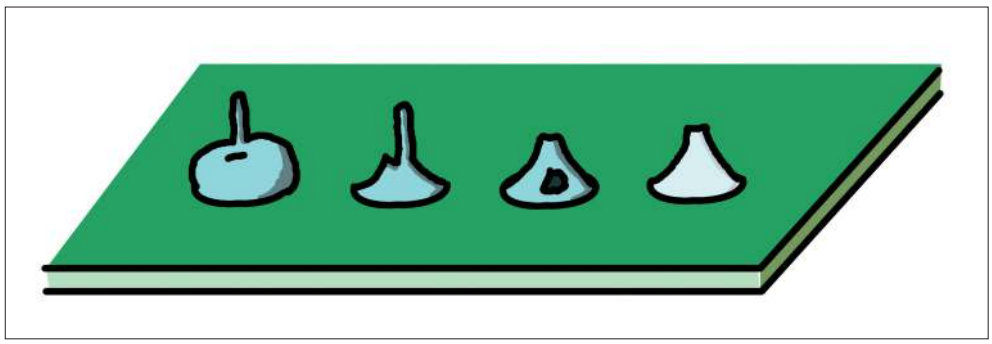


Figura 3.24 – Ejemplos de soldaduras defectuosas o mal acabadas.

Algunos componentes son muy sensibles al calor. Antes o después nos encontraremos con diodos con cubierta de vidrio, transistores o circuitos integrados muy caros. Podemos adoptar algunas precauciones para disipar el calor y no dañar los componentes:

- reducir los tiempos de trabajo;
- realizar pausas para agilizar el enfriamiento de las piezas;
- utilizar disipadores de calor.

Muchos componentes, entre los cuales, los circuitos integrados, se pueden montar utilizando zócalos que se sueldan en el sitio de los chips. Los zócalos son pequeñas placas de pruebas hechas a medida para algunos tipos de componentes.

Construir un *jumper* para placas de pruebas

Ahora veremos cómo podemos construir un *jumper* para utilizar en nuestras placas de pruebas. El material que necesitamos es el siguiente:

- un trozo de cable eléctrico con núcleo trenzado de unos diez centímetros de largo;
- dos trozos de cable rígido pelado (o dos terminales cortados) de 15 milímetros;
- un pedazo de vaina termocontraíble o bien cinta adhesiva.

Así es como debemos proceder:

1. Cortamos el cable eléctrico en la medida deseada y liberamos los extremos de unos 5 milímetros de la vaina.
2. Con los dedos, retorcemos la trenza para que quede compacta y, después, la estañamos con el soldador.
3. Cortamos dos pedazos de vaina termocontraíble de aproximadamente un centímetro de longitud y la colocamos sobre el cable.
4. Con la ayuda de la tercera mano, soldamos el extremo estañado al fragmento de cable rígido (¡pelado!).
5. Cubrimos la soldadura y parte de la patilla con la vaina y lo calentamos todo con la punta del soldador. La vaina se retirará aprisionando el cable (si no tenemos una vaina termocontraíble, envolvemos la soldadura con un pedazo de cinta adhesiva... ¡sin calentarla!).
6. Repetimos la operación sobre el otro extremo del cable.
7. Ya tenemos nuestro *jumper* listo para ser usado.

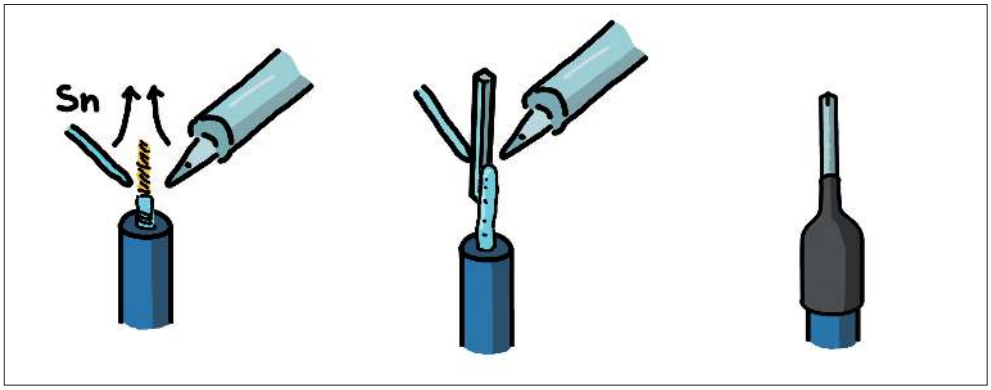


Figura 3.25 – Cómo construir un *jumper* para una placa de pruebas.

Desoldar

Si bien la soldadura es una operación muy sencilla, la desoldadura no lo es tanto. Extraer componentes soldados puede llegar a ser muy difícil y frustrante. Sin embargo, existen casos en los que se puede intervenir con facilidad para eliminar el estaño y rehacer una soldadura mal hecha, o bien para extraer componentes de la base.

Para eliminar el estaño de una isla, podemos utilizar una bomba para desoldar; un tubo equipado con un retén que aspira el estaño fundido. Para liberar un componente, con el soldador calentamos la soldadura hasta que el estaño se funda. A continuación, acercamos la bomba y aspiramos el metal fundido. Normalmente, es preciso repetir este proceso varias veces. Para facilitar la operación de aspiración, yo suelo añadir estaño a la soldadura y se crea una bola que se aspira con facilidad.

Para limpiar las islas, podemos utilizar trenzas de cobre que se apoyan sobre el estaño en exceso y se calientan con el soldador, impregnándose del metal.

Los laboratorios profesionales tienen estaciones de desoldadura especiales, equipadas con bombas aspiradoras y un soldador especial con punta perforada que aspira el estaño con facilidad.

Placas perforadas

Ahora que hemos aprendido a utilizar el soldador, podemos fabricar circuitos duraderos, soldando los componentes sobre las placas para pruebas o circuitos impresos. Las placas para prototipos también se denominan *perforadas*, *protoboard* o *stripboard*. Son placas de baquelita o vetronite perforadas regularmente, con un intervalo estándar de 2,54 mm. Por el lado inferior, cada orificio está rodeado por un pequeño anillo plano de cobre (la isla). Los componentes se fijan soldando sus terminales a las islas. Las conexiones se

realizan, normalmente, por el lado inferior, con fragmentos de cable o con los terminales recortados. La dificultad reside en saber disponer los componentes de la mejor manera para evitar enredos de cables. Existen modelos de placas para prototipado similares a las placas de pruebas, que tienen las islas ya interconectadas entre ellos y organizados en filas y columnas. Con estas placas es posible pasar un proyecto de la placa de pruebas a la placa soldada sin necesidad de realizar cambios. Lo malo es que son poco conocidas, que podrían costar un poco más que las placas simples y que el modelo de la placa de pruebas no es siempre óptimo para frecuencias elevadas.

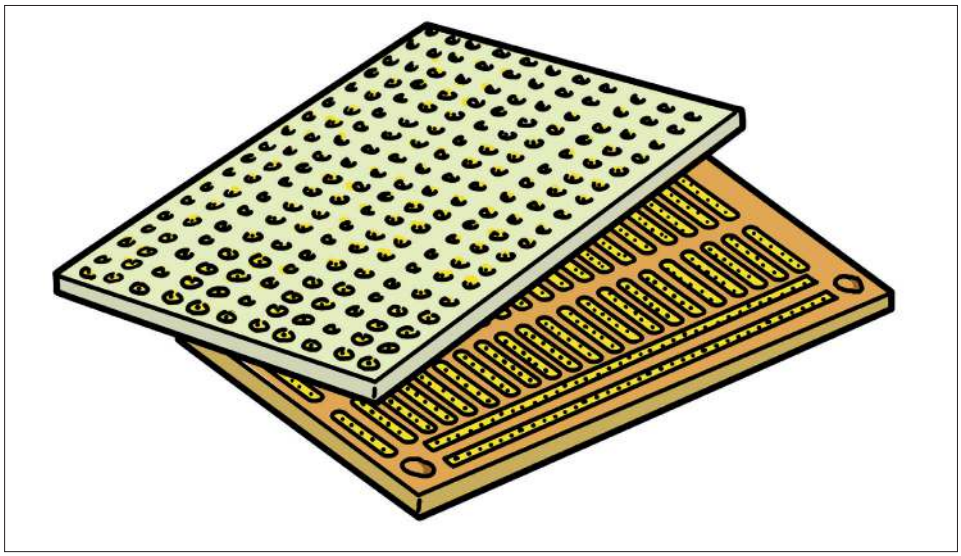


Figura 3.26 – Algunos modelos de placas perforadas para el prototipado.

Para trabajar con este tipo de placas, se recomienda contar con aproximadamente un metro de cable eléctrico de núcleo rígido (de 0,5/0,7 mm de diámetro). El cable se utiliza sin vaina y sirve para realizar las conexiones entre distintos puntos del circuito. Para realizar las conexiones se utilizan a menudo los terminales recortados de los componentes. Al montar un circuito impreso, es habitual que primero se suelden las piezas con el perfil más bajo hasta terminar con las más grandes. Con las perforadas, es mejor empezar por los componentes que pueden resultar más complejos, como chips, conectores y transistores.

Para fijar un circuito integrado (o su zócalo), se coloca sobre la placa y después se pliegan ligeramente hacia el exterior los terminales opuestos. Se gira la placa y se sueldan solo estas dos patillas, de manera que el zócalo quede en posición. Las otras patillas se sueldan solo si es necesario y, en cualquier caso, después.

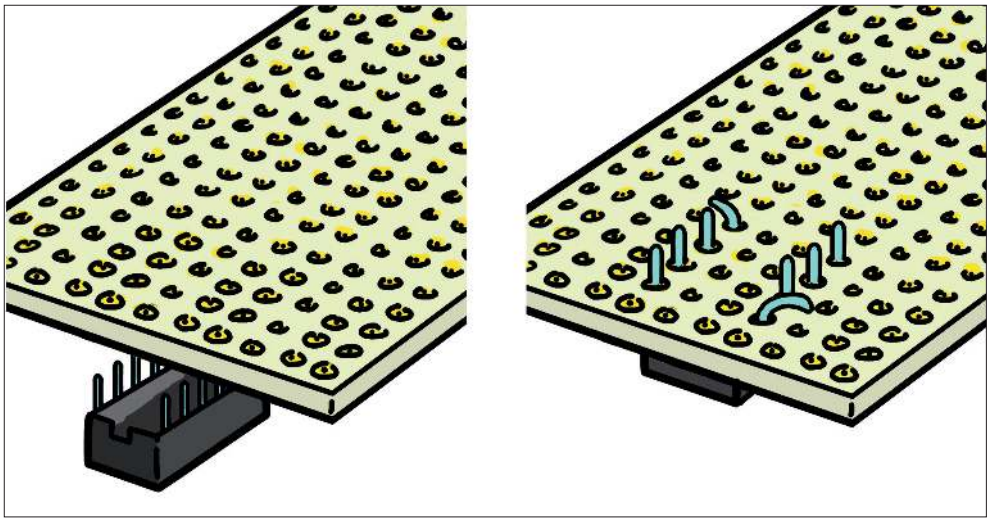


Figura 3.27 – Soldadura de un zócalo para un chip sobre una placa de prototipo.

Para obtener un resultado ordenado, es mejor intentar realizar todas las conexiones sobre el lado inferior de la placa, aunque no resulte nada fácil. Quizás será necesario realizar puentes para saltar vías que no es posible cruzar. En estos casos, creamos puentes breves y limitamos los cables volantes, los cuales se comportan como antenas, recogiendo interferencias.

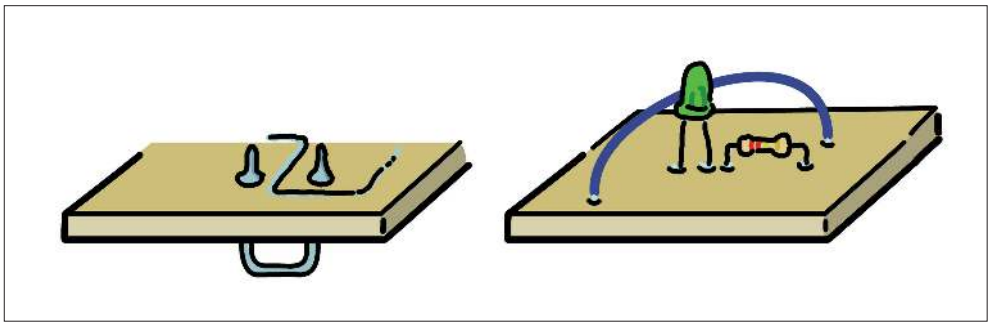


Figura 3.28 – Un puente evita que dos vías se crucen (a la izquierda) y un cable volante une dos partes distantes del circuito (a la derecha).

La disposición de las líneas de alimentación es muy importante, porque ayuda a reducir las interferencias y el ruido. Los recorridos que lleva a cabo la corriente para alcanzar la toma de tierra deben ser siempre breves y directos. Por este motivo, se intenta distribuir la toma de tierra con una línea que recorre el perímetro del circuito; así será

más o menos equidistante de todos los componentes. En los circuitos impresos, que pueden tener más de una capa, se dedica por completo un nivel a la toma de tierra: el plano de masa. La línea de alimentación o las señales de reloj deben llegar directamente a los componentes y la mejor disposición suele ser en estrella.
De nuestra placa saldrán los cables de alimentación y de señal o conexiones a interruptores, pantallas, ledes y potenciómetros. Estos cables pueden ser arrancados con facilidad. Con la ayuda de un taladro, podemos realizar un agujero en la placa para poder usarlo como ojete para que queden sujetos.

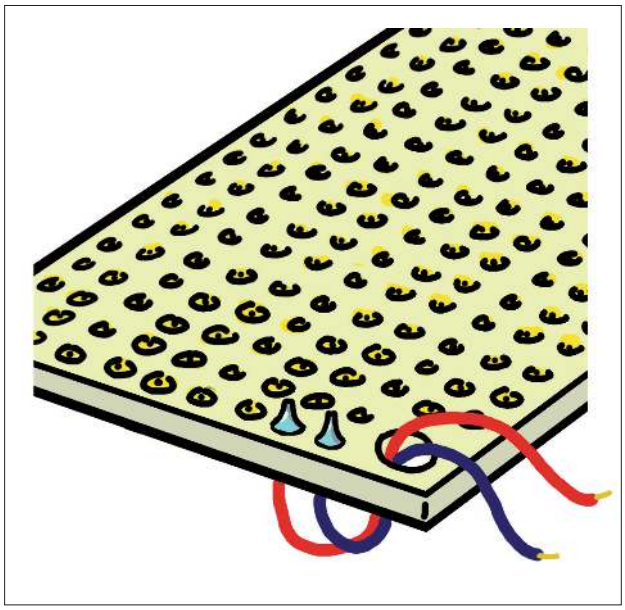


Figura 3.29 – El orificio pasacables.

Del esquema al prototipo

A continuación, vamos a intentar fabricar el circuito de la figura 3.6, con placa perforada y soldador. Aunque ya hemos creado el circuito sobre una placa de pruebas, el resultado que obtendremos con la placa perforada será completamente distinto.
Los componentes que necesitamos son:

- 1 led rojo.
- 1 resistor de 390 Ω.
- 1 pila de 9 V.
- 1 clip para la pila de 9 V.
- 1 placa perforada.

- Cable eléctrico para las conexiones.
- Un soldador de 25 W, estaño, una esponja, una tercera mano y accesorios para la soldadura.

Aunque el circuito es muy sencillo, probemos a colocar los componentes sobre la placa, simplemente introduciéndolos en los orificios, para intentar entender cuál podría ser su mejor disposición. Empezamos a trabajar:

1. Preparamos y calentamos el soldador.
2. Colocamos el resistor de manera que esté en el borde de la placa (a dos o tres orificios de distancia).
3. Sujetando el resistor con un dedo, giramos la base y plegamos sus terminales hacia fuera, hasta que ya no estén en contacto con la superficie de la placa perforada.
4. Soldamos el resistor.
5. Cortamos el terminal más interior, mientras dejamos que el segundo llegue hasta el borde de la base, pues lo usaremos para conectar el positivo de la batería.

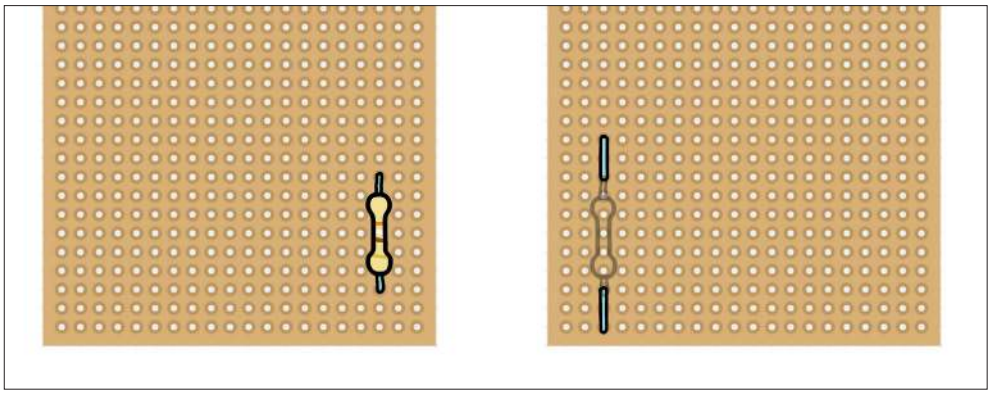


Figura 3.30 – Insertamos el resistor en la placa perforada (parte superior e inferior).

6. Colocamos el led de manera que el terminal positivo mire hacia el resistor.
7. Plegamos sus terminales de manera que el positivo llegue al resistor.
8. Soldamos el led y recortamos los terminales como se ve en la figura.
9. Con el soldador debemos crear una soldadura puente para unir el terminal positivo del led y la soldadura del resistor. Para ello, soldamos el terminal del led y después retomamos la soldadura del resistor, añadiendo estaño hasta que las soldaduras adyacentes se unan.
10. Ahora, tomamos un trozo de cable pelado y lo soldamos entre el terminal negativo del led y el borde de la base.

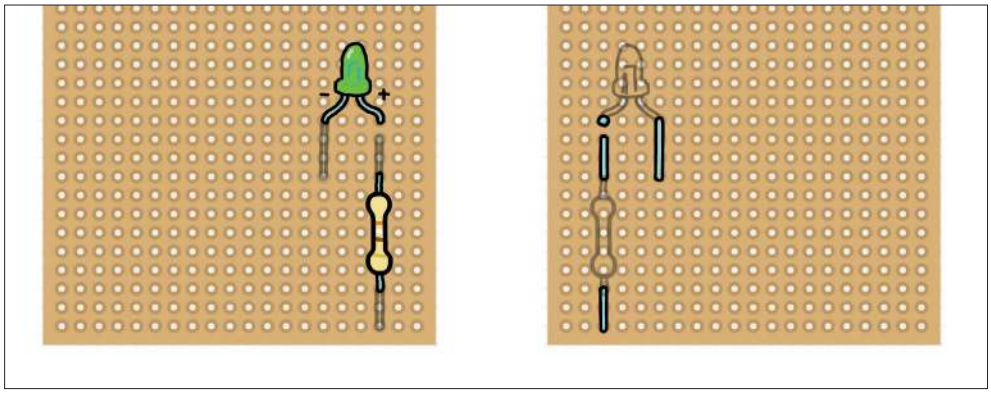


Figura 3.31 – Soldamos el led en la base (parte superior e inferior).

11. Comprobamos si el clip para la pila tiene los cables estañados y, si no fuera así, los estañamos.
12. Colocamos el cable rojo del clip en la base, cerca del borde, y lo soldamos en posición, de manera que esté unido al terminal del resistor.
13. Colocamos el cable negro del clip en la base y lo soldamos al fragmento de cable que lleva al negativo del led.
14. Conectamos la pila.
15. ¡Hola Mundo!

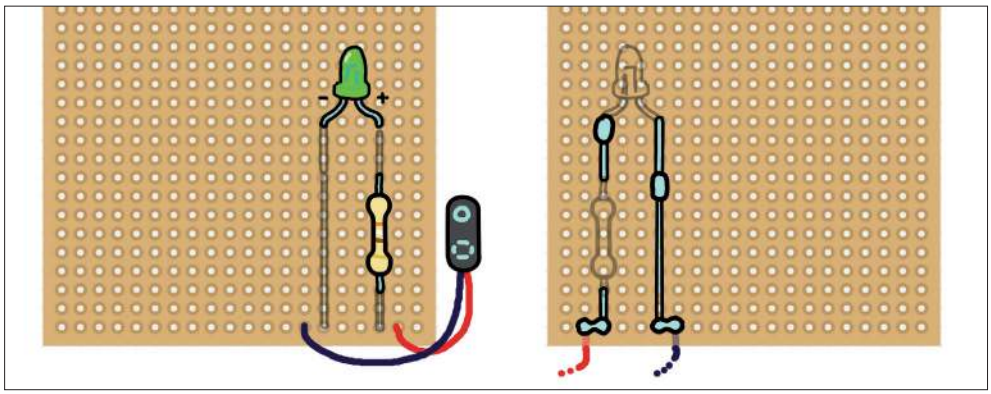


Figura 3.32 – Trabajo completado: parte superior e inferior de la placa.

4

Semiconductores

En este capítulo estudiaremos con atención los principales tipos de componentes activos, es decir, aquellos que utilizan semiconductores. Empezamos por el diodo, hasta llegar a los circuitos integrados, realizados con cientos o miles de transistores en miniatura.

Los semiconductores son materiales con propiedades particulares, capaces de modificar el flujo de la corriente. Son materiales como el silicio, el germanio, el arsénico, el galio o combinaciones de estos elementos poco conocidos. Agregando una serie de impurezas a un semiconductor, en un proceso denominado dopaje, lo convertimos ligeramente en positivo o negativo y cambiamos su comportamiento. Su característica no es tanto la de comportarse como un resistor, sino la de poder proporcionar o adquirir electrones. Hablamos de semiconductores de tipo N en el primer caso y de tipo P en el segundo. Al combinar varias capas de semiconductores, de distinto tipo y grosor, se observan una serie de propiedades especiales que han permitido desarrollar nuevos dispositivos electrónicos, como el diodo, el transistor y los circuitos integrados.

Diodos

Un diodo es un componente por el cual la corriente circula en un único sentido. Es un dispositivo bastante simple, aunque muy importante, pues ha sido la base del desarrollo de los transistores y de los circuitos integrados.

Parece ser que ya en 1874 Karl Ferdinand Braun se dio cuenta de que algunas combinaciones de metales presentaban la propiedad de hacer circular la corriente en un único sentido. El diodo es comparable a una válvula especial en la cual el agua puede discurrir solo en una dirección (una válvula de no retorno).
¿Para qué podría servir un componente de este tipo? Los diodos se utilizan para evitar cortocircuitos o para impedir que grandes corrientes en sentido opuesto crucen otros dispositivos y los dañen. También se utilizan en los alimentadores que elevan la tensión de red a 220 V, la reducen y la transforman en corriente continua. La transformación de corriente alterna a corriente continua se puede realizar con diodos.

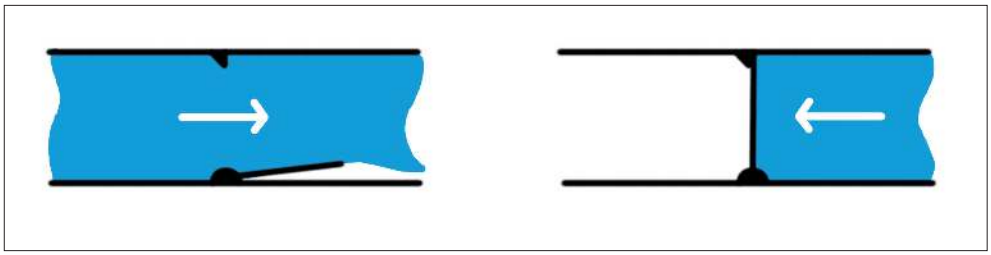


Figura 4.1 – El diodo es comparable a una válvula de no retorno.

Los diodos se fabrican poniendo en contacto dos capas de semiconductores, una de tipo P y otra de tipo N, y formando una unión PN. Los primeros diodos estaban hechos con germanio y, después, se pasó al silicio. Las dos zonas con polaridades opuestas crean una barrera eléctrica que puede impedir el paso de la corriente en una de las dos direcciones. El símbolo del diodo recuerda una especie de flecha, que sugiere en qué dirección circula la corriente.

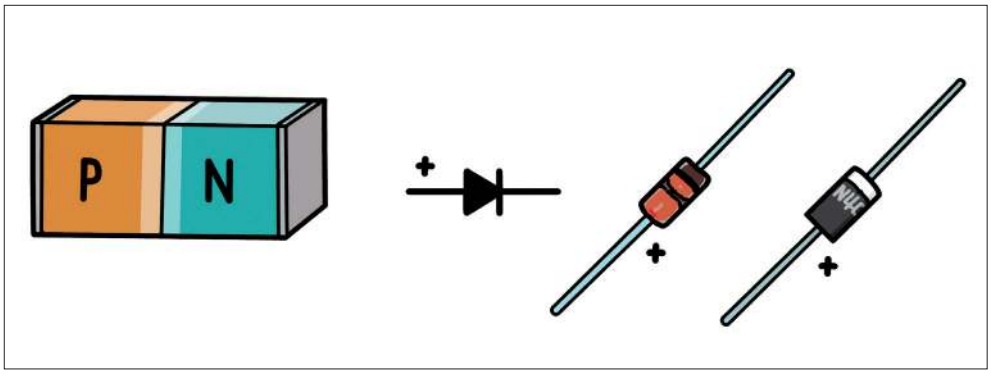


Figura 4.2 – La unión PN del diodo, su símbolo y algunos componentes reales. El cátodo está indicado con una tira de color blanco.

El diodo tiene una polaridad; sus terminales son distintos y se llaman ánodo y cátodo. El cátodo corresponde al polo negativo y el ánodo al positivo. Cuando conectamos el ánodo al polo positivo de un generador y el cátodo al negativo, el diodo está en polarización directa y puede circular corriente. Si queremos evitar un cortocircuito, debemos añadir un resistor en serie al diodo. Si invertimos las conexiones, el diodo está en polarización inversa y la corriente no circula.

Ánodo y cátodo se pueden distinguir fácilmente porque el cátodo siempre se indica con una tira o una banda de color (blanca o negra). Algunas aplicaciones requieren distintos tipos de diodos:

- Diodos para señales: se utilizan para modificar señales eléctricas formadas por pequeñas corrientes, como el 1N4148, con su delicadísimo cuerpo de vidrio.
- Diodos de germanio: utilizados en los estadios detectores de la radio.
- Diodos rectificadores: para rectificar las corrientes o evitar cortocircuitos, como los 1N4005, con el cuerpo de plástico negro y la tira blanca sobre el cátodo.
- Diodos para fuertes corrientes: con el cuerpo de grandes dimensiones, de plástico o cerámica para resistir a las altas temperaturas y disipar mejor el calor.
- Diodos especiales como los zener, los varicap o los schottky.

Ahora vamos a intentar construir un simple circuito con un diodo común y veremos cómo se comporta. Esta es la lista del material que necesitamos:

- Un diodo común, como el 1N4005 o el 1N4007.
- Un resistor de 10 kΩ.
- Una placa de pruebas.
- *Jumpers* para las conexiones.
- Una batería de 9 V con clip.
- Un tester.

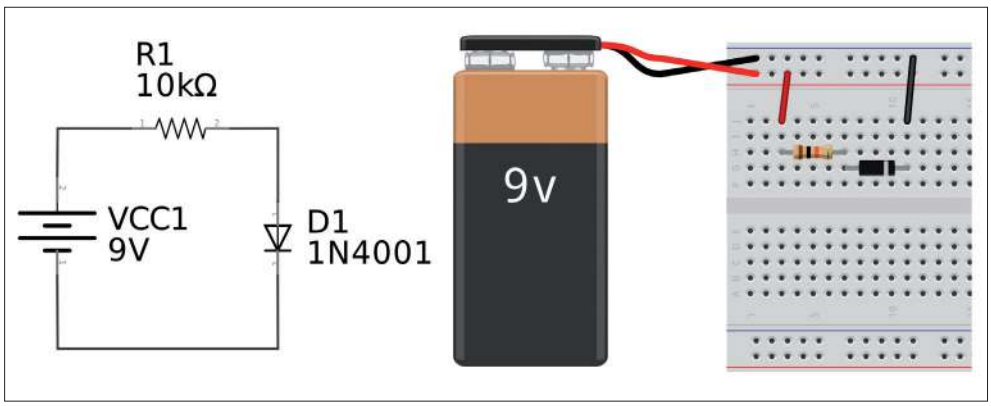


Figura 4.3 – Esquema eléctrico del circuito y montaje en la placa de pruebas.

Como hemos dicho antes, si conectamos el diodo en polarización directa con el ánodo hacia el polo positivo de la batería, el componente debería dejar pasar la corriente, como si fuera un interruptor cerrado, y la caída de tensión en sus extremos debería ser igual a 0 voltios. Si utilizamos la ley de Ohm, esperaríamos una corriente igual a:

$$I = \frac{9\ V}{10\ k\Omega} = 0{,}9\ mA$$

En cambio, si medimos la corriente con un tester, obtendremos unos 0,8 mA. Si midiéramos la tensión en los extremos del diodo, obtendríamos 0,6 V. Eso significa que el diodo no se comporta exactamente como un interruptor. Para encender el diodo, en sus extremos debe haber una tensión comprendida entre 0,5 V y 0,7 V. El valor depende del modelo y de la tecnología del diodo. Algunos diodos especiales requieren solo 0,1 V. Para calcular correctamente la corriente, debemos considerar la tensión de encendido del diodo. El cálculo correcto es el siguiente:

$$I = \frac{(9\ V - 0{,}6\ V)}{10\ k\Omega} = 0{,}84\ mA$$

Si insertamos el diodo al revés y, por tanto, en polarización inversa, no circulará corriente y en sus extremos deberíamos obtener exactamente 9 V, porque así se comporta como si fuera un circuito abierto y no circula corriente.

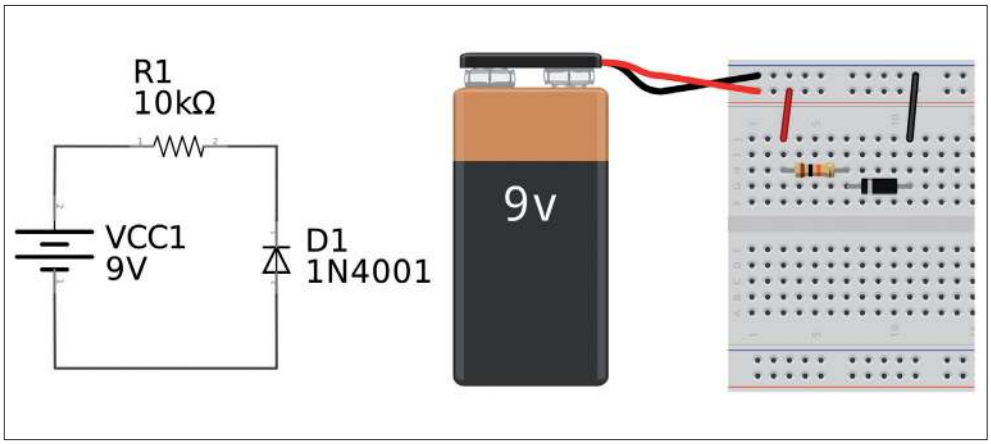


Figura 4.4 – Esquema eléctrico del circuito con el diodo en polarización inversa y montaje sobre una placa de pruebas.

En las hojas de especificaciones se pueden encontrar gráficos que ilustran, mediante el uso de curvas, el comportamiento del diodo. El diodo ideal tiene un gráfico de codo con la tensión sobre el eje horizontal y la corriente sobre el vertical. Cuando el diodo está polarizado inversamente, la tensión es negativa y la corriente es igual a cero. Con el diodo polarizado directamente, la tensión es positiva y la corriente puede alcanzar cualquier valor. Un diodo real tiene una curva muy diferente. Para tensiones negativas, la corriente siempre es igual a cero, pero si la tensión es positiva, observamos que hasta el valor aproximado de 0,6 V no pasa corriente (es igual a cero). A partir de los 0,6 V y en adelante, el diodo empieza a conducir y la curva sube con una cierta pendiente. Esto significa que, al aumentar la corriente que circula en el componente, la tensión del diodo no será de 0,6 V, sino que podrá modificarse (ligeramente).

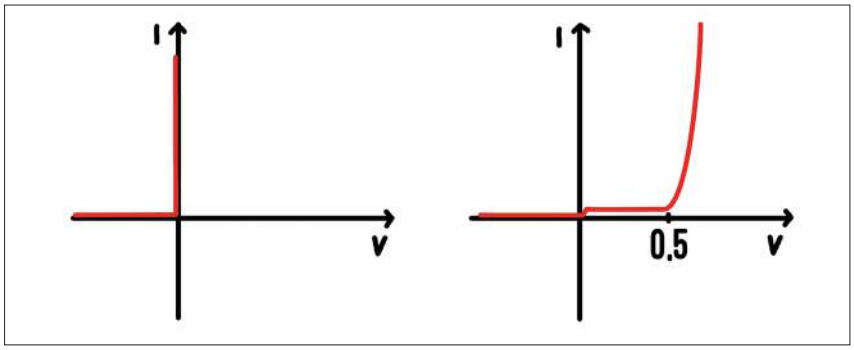


Figura 4.5 – Gráfico de funcionamiento del diodo: teórico (a la izquierda) y real (a la derecha).

Un uso típico del diodo es utilizarlo como protección para las inversiones de polaridad. Un diodo se puede colocar inmediatamente después del terminal positivo de la fuente de alimentación del circuito, con el cátodo girado hacia el interior. Así, podrá circular la corriente solo en sentido correcto.

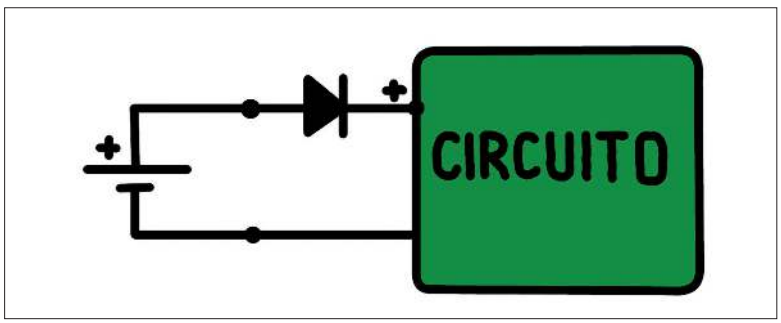


Figura 4.6 – Esquema de conexión de un diodo utilizado como protección ante inversiones de polaridad.

En los circuitos que utilizan relés o motores, se crean corrientes no deseadas que pueden dañar otros componentes. Cuando el flujo de corriente que pasa por un electroimán se interrumpe, el electroimán libera la energía que había acumulado creando una corriente que circula en sentido contrario a la de la alimentación. Por ese motivo, es habitual colocar, en paralelo a los contactos de los relés, un diodo que, en condiciones normales, será como un circuito abierto (polarizado inversamente), pero que para las corrientes residuales que genera el relé se comportará como un cortocircuito, anulándolas.

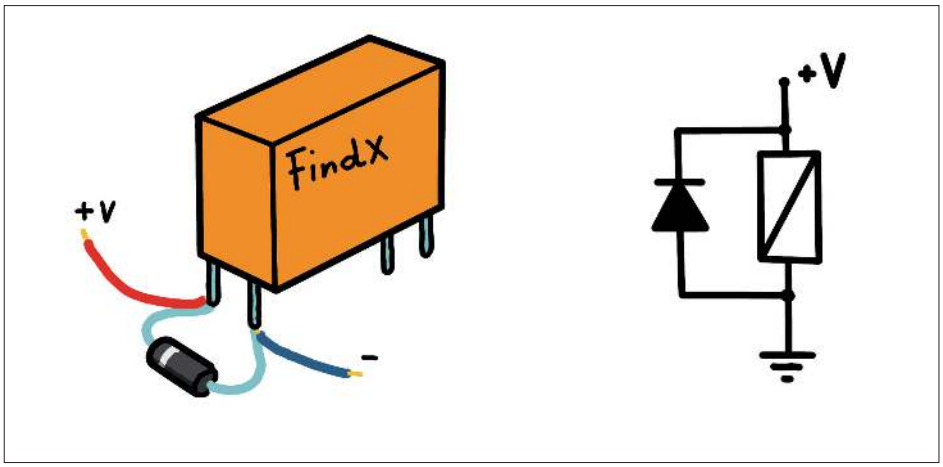


Figura 4.7 – Conexión de un diodo para anular las corrientes residuales generadas por un relé.

Los diodos también se utilizan para enderezar la corriente. La corriente alterna es una corriente que circula en un sentido y en otro. Si la hacemos pasar por un diodo, solo podrá salir el flujo positivo, mientras que la parte negativa quedará bloqueada.
Mediante cuatro diodos conectados en puente, es posible enderezar las dos semiondas de una corriente alterna y combinarlas para que se sitúen unas junto a otras y volcadas sobre el eje positivo. Hablaremos mejor de ello en el capítulo dedicado a las fuentes de alimentación.

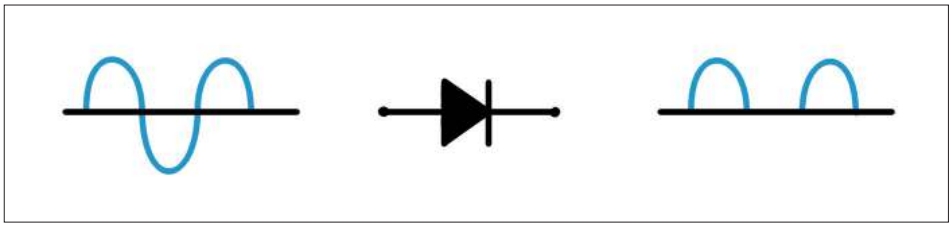


Figura 4.8 – Una onda sinusoidal circula por un diodo que deja pasar solo las semiondas positivas.

Los diodos se pueden utilizar también para crear pequeñas tensiones de referencia bastante estables. En los extremos de un diodo encontramos una tensión de unos 0,7 V, por lo que conectando varios diodos en serie podemos obtener tensiones de 1,4 V, 2,1 V, 2,8 V, etc.
Existen diodos especiales, dotados de propiedades particulares. Los diodos zener se comportan como diodos comunes, pero si se polarizan inversamente, hasta un determinado voltaje (Vz), se comportan como un circuito abierto y, más allá de este umbral, bloquean la tensión en sus extremos con un valor fijo y preciso y se pueden utilizar como simples estabilizadores de tensión.
En cambio, los diodos schottky se forman uniendo un único semiconductor y un metal. Tienen una tensión de polarización muy baja (incluso de 0,1/0,15 V) y son muy rápidos. Los diodos varicap se utilizan como si fueran condensadores variables controlados eléctricamente.

El transistor bipolar

El transistor se puede considerar el componente que revolucionó la electrónica. Nacido en 1948, sustituyó en poco tiempo las válvulas termoiónicas, voluminosas y delicadas, permitiendo la miniaturización de los circuitos y sentando las bases para el nacimiento de los circuitos integrados y de las calculadoras electrónicas. El primer transistor fue desarrollado por un equipo de tres personas: William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain.
El transistor bipolar (BJT) es un dispositivo con tres terminales fabricado con tres capas de semiconductores alternos. El funcionamiento puede explicarse mediante electrones, huecos, uniones y regiones de agotamiento, describiéndolo todo con varias fórmulas matemáticas acompañadas de gráficos y tablas. Un transistor no es nada más que un dispositivo capaz de regular el flujo de una corriente principal mediante una pequeña corriente de control.
Para entender el transistor, son dos los puntos fundamentales que hay que tener siempre en cuenta:

- el transistor bipolar es parecido a una especie de grifo;
- es un dispositivo que funciona con corriente.

Los tres terminales del transistor se denominan base, emisor y colector. El terminal denominado base funciona como el mando de un grifo. Si utilizamos la analogía hidráulica, el transistor es un grifo controlado no por nuestra mano sino por un flujo de agua que controla la válvula principal. En el transistor real, una pequeña corriente puede controlar una más grande que circula entre el colector y el emisor, para poder

controlar dispositivos que requieren corrientes elevadas (más o menos como hace un relé) o para amplificar señales débiles.

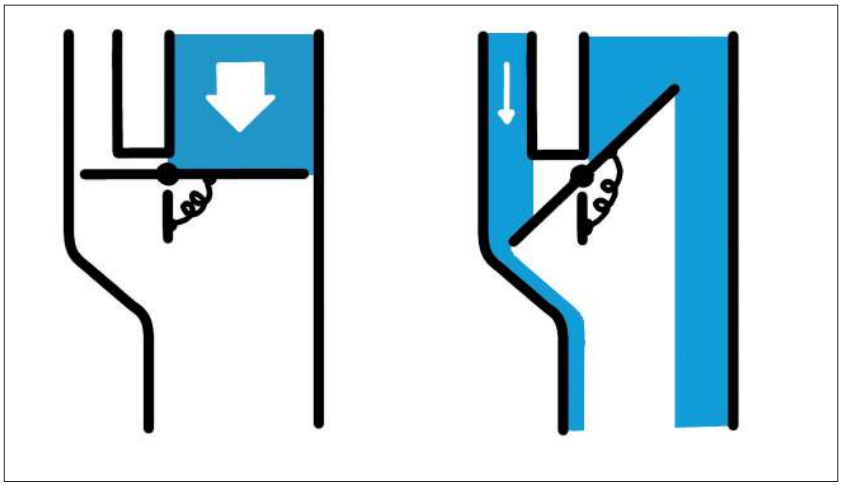


Figura 4.9 – El transistor bipolar se parece a un extraño grifo.

Si no llega corriente a la base, es como si el grifo estuviera cerrado y, por lo tanto, no circula corriente entre emisor y colector. En cuanto entra un poco de corriente en la base (unos cuantos μA), también la vía principal empieza a abrirse. La corriente que circula entre emisor y colector es de unos mA. En el transistor bipolar, la corriente de la base alcanza el flujo principal y se une a él.

Un transistor se fabrica con tres capas de material semiconductor de tipo alterno: es una especie de bocadillo donde un semiconductor de tipo N se encuentra encerrado entre dos semiconductores de tipo P y viceversa. Existen dos tipos posibles de transistores denominados PNP y NPN. Son opuestos unos a otros. Los diodos están formados por un semiconductor N que se acerca a un tipo P. Con los transistores es como si tuviéramos dos diodos conectados en oposición o contraposición. No podemos obtener un transistor simplemente con la unión de dos diodos, porque es necesario que las tres capas de semiconductores estén en contacto cercano para que se produzca lo que se conoce como *efecto transistor*. Los dos tipos de transistor se indican mediante dos símbolos distintos: en uno, la flecha es saliente y en el otro, es entrante. El truco para recordar si un transistor es de un tipo o de otro es utilizar los acrónimos que se refieren al sentido de la flecha; NPN = *Never Point iN* (no apunta nunca hacia el interior) o PNP = *Point iN Perpetually* (apunta siempre hacia el interior).

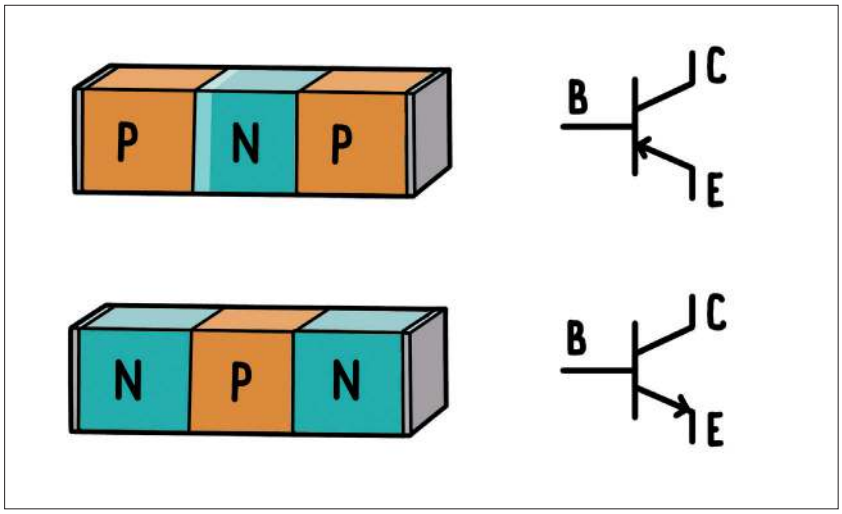


Figura 4.10 – Estructura del transistor NPN y PNP y símbolos eléctricos.

El bocadillo de semiconductores se encuentra dentro de un envoltorio de plástico o metálico. Existen distintos paquetes que han sido estandarizados para que forma y dimensiones sean definidas de manera precisa. Podemos encontrar transistores de metal que parecen pequeñas cajas de atún, otros de plástico negro con un lado redondeado, otros que disponen de una aleta para el enfriamiento (formato TO220), otros que son metálicos y de grandes dimensiones, otros que dejan intuir que podrían calentarse mucho (formato TO35), etc. También hay formatos SMD de montaje superficial, diminutos.

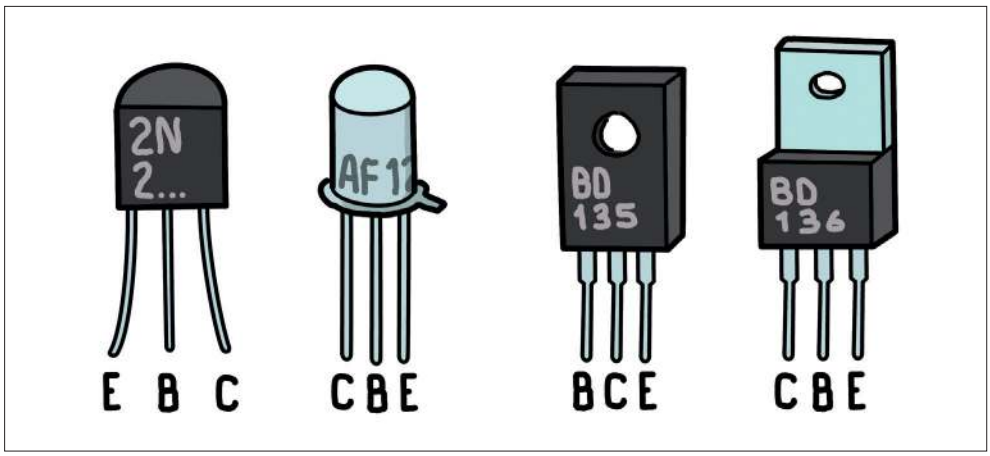


Figura 4.11 – Existen transistores de diferentes formas, con patillas dispuestas en distintas combinaciones.

Los paquetes están estandarizados, pero no las disposiciones de las patillas, las cuales varían según el modelo. La única manera de saber cómo están dispuestas es comprobarlo en las hojas de especificaciones.
Los transistores tienen una sigla que identifica sus características, la cual se encuentra impresa sobre el cuerpo del componente. Existen convenciones, como la japonesa, según la cual los modelos empiezan todos por 2N seguido de un número, o como la europea, en la cual encontramos pares de letras (BC, BD, AF...) seguidas de un número. Siglas y números tienen distintos significados. Por ejemplo, en la convención europea, la primera letra indica si el transistor es de germanio (A) o de silicio (B) y la segunda letra indica el uso habitual: C - genérico, F para radiofrecuencias, etc.
Un transistor puede funcionar de tres maneras distintas:

- Saturación: cuando la corriente de base crece demasiado, el transistor se comporta como un interruptor cerrado.
- Corte: cuando la corriente de base es nula, el dispositivo se comporta como un interruptor abierto.
- En región activa: cuando la corriente que circula entre emisor y colector es proporcional a la corriente aplicada a la base.

Transistor en saturación

El modo más sencillo de utilizar el transistor es utilizarlo como un interruptor controlado por la corriente y, después, hacer que trabaje en saturación o en corte. Seguramente lo habréis visto utilizar más de una vez con Arduino para controlar un relé; la base del transistor se encuentra conectada a una patilla del microcontrolador con un resistor de 1 kΩ. El transistor es de tipo NPN y podría ser el modelo 2N2222. Se necesita un transistor porque los pines de salida de Arduino pueden proporcionar como máximo unas decenas de miliamperios, los cuales no bastan para controlar el relé y correríamos el riesgo de quemar el microcontrolador.
Vamos a intentar hacer una copia del esquema de funcionamiento fabricando un simple circuito para controlar un led. Necesitamos lo siguiente:

- una placa de pruebas;
- un transistor NPN modelo 2N2222;
- un led;
- un resistor de 470 Ω;
- un resistor de 1 kΩ;
- cables o *jumpers* para las conexiones;
- una batería de 9 V con clip.

Montamos el circuito siguiendo el esquema ilustrado en la figura siguiente.

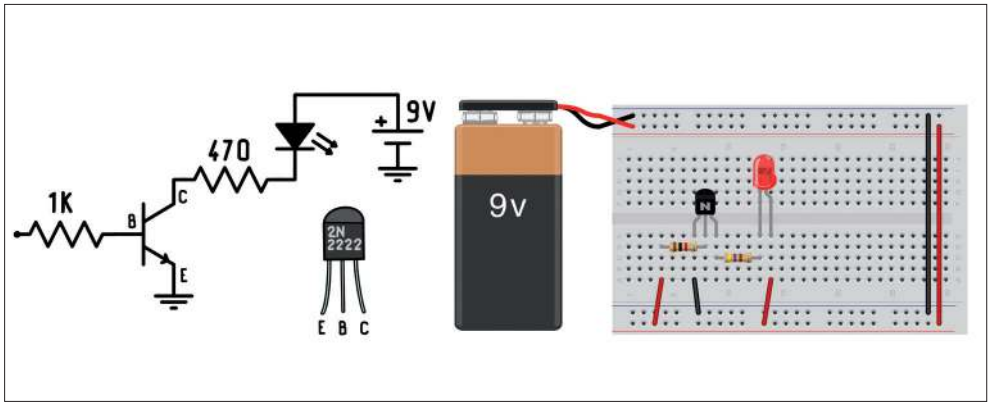


Figura 4.12 – Esquema eléctrico del circuito para controlar un led y montaje en una placa de pruebas. Por comodidad, he indicado la disposición de los pines del modelo 2N2222.

Procedemos al montaje:

1. Tomamos el transistor e identificamos los terminales. Si mantenemos el lado plano hacia nosotros, tenemos, de izquierda a derecha, el emisor, la base y el colector.
2. Insertamos el emisor en el orificio E7, la base, en el E8 y el colector, en el E9.
3. Conectamos el emisor en el polo negativo de la fuente de alimentación con un *jumper* del A7 al raíl con la banda de color azul.
4. Conectamos la resistencia de 1 kΩ entre la base del transistor y la alimentación positiva (con un terminal en la columna cuatro y otro en la columna ocho).
5. Unimos la fila cuatro al raíl de alimentación rojo mediante un pequeño puente.
6. Insertamos la resistencia de 470 Ω con un terminal en la columna 9 (el colector del transistor) y otro en la columna trece.
7. Añadimos el led situando su ánodo (+) en la columna catorce y el cátodo (-) en la trece.
8. Conectamos la columna catorce al raíl de alimentación positiva (rojo) mediante un pequeño puente.
9. Conectamos los cables del clip para la pila de 9 V a los dos raíles de alimentación de la placa de pruebas.

Al conectar la batería de 9 V, el led se encenderá porque estamos haciendo llegar a la base del transistor una corriente que abre el grifo. La corriente que llega a la base se calcula con la ley de Ohm:

$$I_b = \frac{V_{pin}}{R} = \frac{9\ V}{1\ k\Omega} = 9\ mA$$

Aunque pueda parecer una corriente pequeña, es suficiente para desatascar el grifo, es decir, para poner el transistor en saturación. Sin embargo, en realidad, el cálculo exacto debería ser el siguiente:

$$I_b = \frac{(9 - 0{,}5)\ V}{1\ k\Omega} = 8{,}5\ mA$$

Debemos extraer 0,5 V porque el transistor está formado por un bocadillo de semiconductores de tipo alterno y, entre la base y el emisor, tenemos algo similar a un diodo. Cuando este diodo se polariza directamente (la corriente circula en el sentido de la flecha), en sus extremos hay unos 0,5 V que debemos extraer a los 9 V para tener la tensión correcta en los extremos de la resistencia.

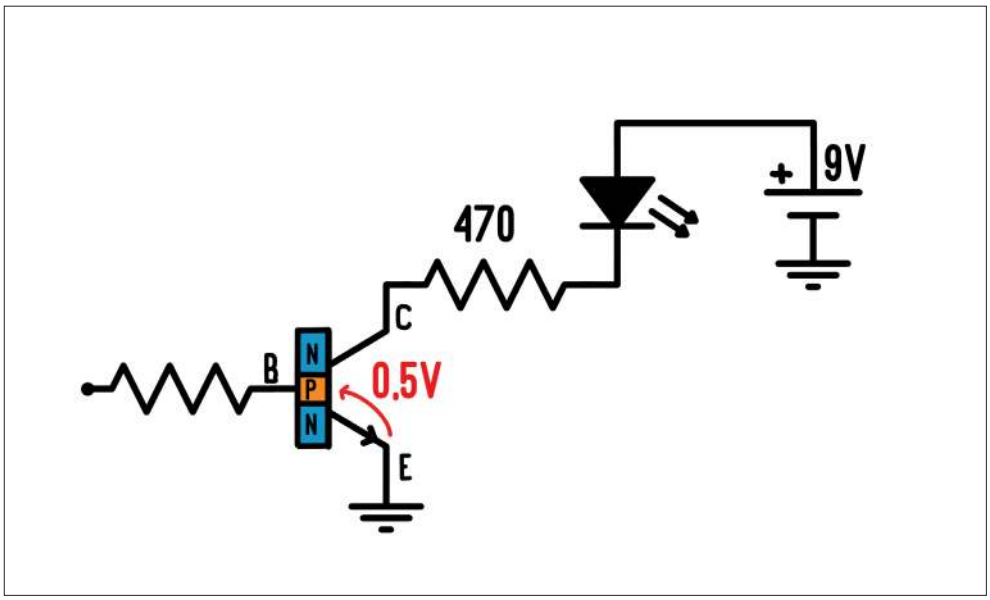


Figura 4.13 – Entre la base y el emisor tenemos una unión PN sobre la cual debemos tener al menos 0,5 V para encender el transistor.

Cuando el transistor está en saturación, la corriente puede fluir entre el colector y el emisor y está limitada solo por los componentes que conectamos en serie al emisor o al colector. Siempre es mejor colocar una resistencia para evitar un cortocircuito y quemar el transistor.

Transistor en corte

¿Qué debemos hacer para cerrar el grifo? Si conectamos la base a la toma de tierra, ya no circulará corriente y el transistor se comportará como un interruptor abierto. El diodo (o mejor dicho, la unión PN) entre base y emisor ya no está polarizado directamente porque tanto en B como en E tenemos 0 voltios y, por tanto, el transistor estará apagado. Para reactivarlo, la tensión entre B y E debe llegar al menos a los 0,5 V.

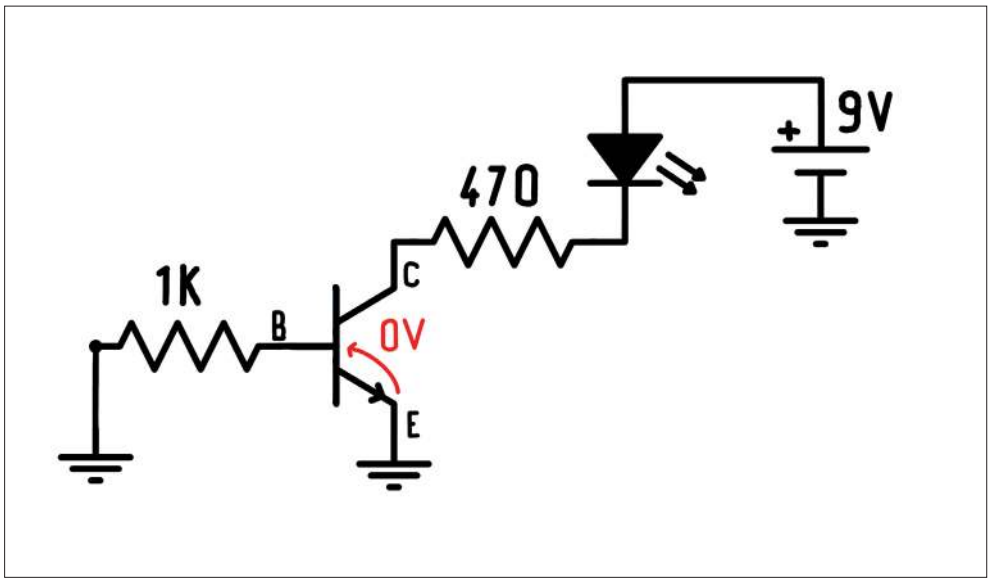


Figura 4.14 – La base del transistor está conectada a la toma de tierra y la unión base-emisor tiene 0 V. el transistor está en corte.

Vamos a intentar modificar el circuito de prueba que acabamos de fabricar. Conectamos la resistencia de 1 kΩ entre la base del transistor y el polo negativo de la fuente de alimentación. Tal y como esperábamos, el led se apaga.

Transistor en actividad

A continuación, haremos que el transistor funcione en una situación intermedia, en la cual no esté ni completamente abierto ni completamente cerrado. En este caso se

dice que está en actividad y se puede utilizar como un amplificador de señales. La corriente de base vale unos µA y la corriente entre emisor y colector varía proporcionalmente cuando varía la corriente de base (I_b). La hoja de especificaciones del transistor 2N2222 muestra un gráfico en el cual aparecen curvas que describen las variaciones de la corriente del colector y de la tensión entre colector y emisor. En el mismo gráfico se representan múltiples curvas superpuestas. Cada una de estas curvas corresponde a un valor distinto de la corriente de base. Si decidimos trabajar con una corriente de base igual a 0,5 mA, solo necesitaremos una de las muchas curvas dibujadas.

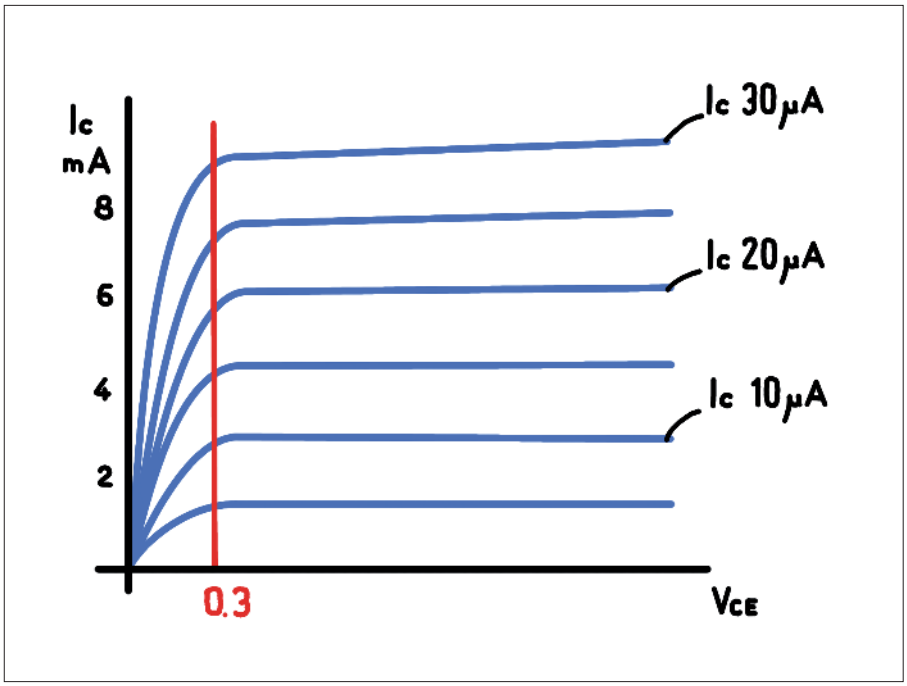


Figura 4.15 – Gráfico con las curvas de funcionamiento del transistor. Para cada valor de la corriente de base, debemos seleccionar una de las curvas. Cuando la V_{CE} supera el valor mínimo de 0,3 V, la corriente del colector asume un valor constante.

Volvemos a utilizar el circuito de la figura 4.12 que ya hemos creado sobre una placa de pruebas. Sin embargo, esta vez modificaremos el valor de la resistencia conectada a la base, que llamaremos R_B, con el fin de hacer circular una corriente de base de 0,5 mA.

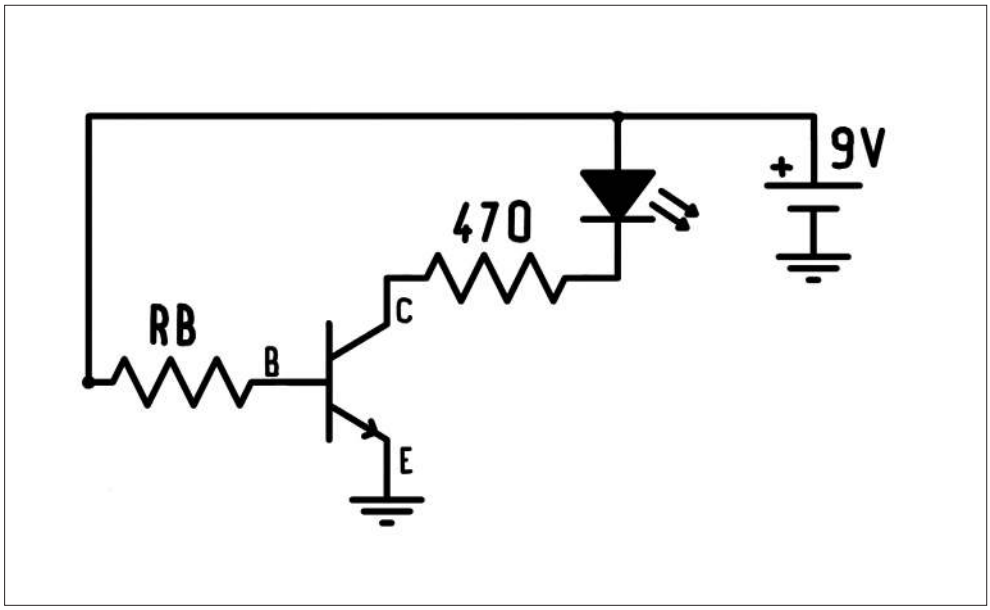


Figura 4.16 – Con una sola resistencia conectada entre la alimentación y la base, ajustamos la corriente de base del transistor.

El circuito se alimenta con una batería de 9 V, por lo que la caída de tensión en los extremos de la resistencia será de 8,5 V, es decir, los 9 V de la batería de la cual extraemos 0,5 V para la unión entre base y emisor.

$$R_B = \frac{(9 - 0{,}5)\ V}{0{,}5\ mA} = 9000\ \Omega \cong 10\ k\Omega$$

Redondeamos el valor de la resistencia R_B a 18 kΩ.
Ahora veamos cómo calcular la corriente que circula en el colector (I_c). En los transistores BJT existe un vínculo directo entre I_B e I_C: la corriente de colector es igual a la corriente de base multiplicada por un número (la ganancia). En las hojas de especificaciones, la ganancia se denomina *beta* (o con la letra del alfabeto griego β) y es un número muy variable, incluso entre transistores del mismo tipo, tanto que siempre se indica como un intervalo de valores (por ejemplo, de 150 a 220). Podemos escribir la regla de la siguiente manera:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

El beta es un número que puede encontrarse en las hojas de especificaciones, a veces indicado como Hfe (aunque no son exactamente lo mismo, a la práctica la diferencia es muy poca). Para el 2N2222, puede valer entre 100 y 300. El número se indica de modo aproximado porque el beta es un número muy variable y no demasiado fiable. Por ese motivo, el esquema del amplificador que hemos visto antes es simple pero no demasiado preciso, porque I_C depende mucho del parámetro beta, así como, por ejemplo, de la temperatura ambiente, que puede hacer variar sensiblemente la corriente que llega a la base. Un esquema mejor y muy utilizado es el que utiliza un divisor de tensión a la entrada para fijar la I_B.

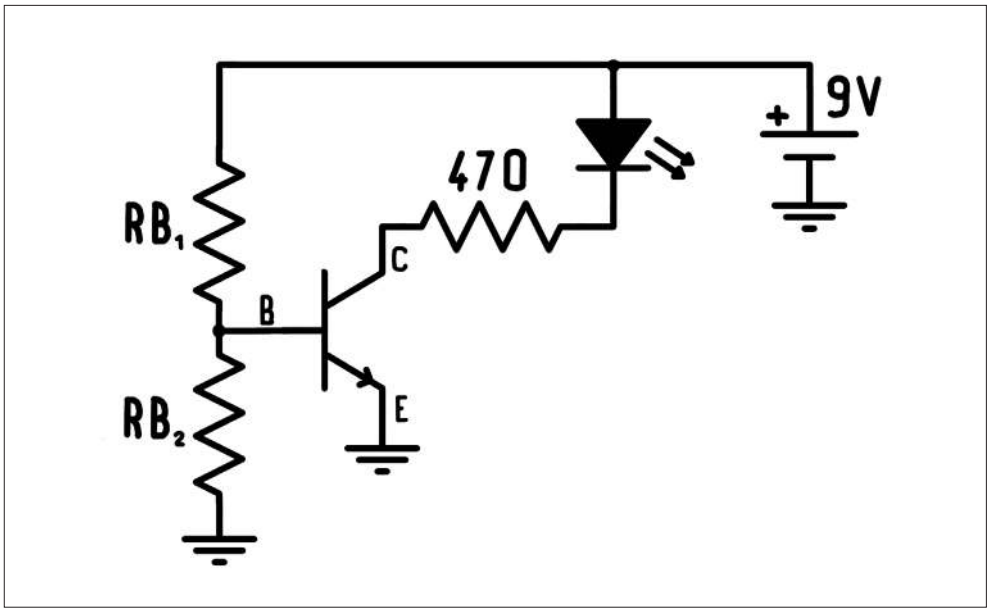


Figura 4.17 – Para fijar la corriente de base, podemos utilizar un divisor de resistencias. El circuito será más estable.

¿Cuánto vale, en este caso, la corriente de base? Tenemos una corriente que circula entre R_{B1} y R_{B2} y parte de esta corriente sale del divisor y entra en la base del BJT. Un método empírico para determinar las resistencias del amplificador a transistor es utilizar una placa de pruebas con trimmers en lugar de resistencias e ir realizando intentos, aplicando una señal a la entrada y comprobando con un osciloscopio (o con un arduinoscopio, descrito en el Apéndice), la señal a la salida. Se procede mediante intentos, modificando los ajustes de los trimmers, hasta que la señal de salida no se comporte como queremos. Para generar una señal de muestra, podemos utilizar un

generador de señales, o bien construir un circuito para la ocasión (lo veremos en los capítulos siguientes).

Para determinar cuánto vale la corriente de base que sale del divisor, utilizaremos un truco llamado *circuito equivalente de Thevenin*, mediante el cual sustituiremos las dos resistencias por un generador de tensión y una resistencia.

En primer lugar, debemos rediseñar el esquema eléctrico del circuito, separando lo que se encuentra a la derecha del transistor de lo de su izquierda. El circuito está alimentado por una única batería, pero una vez separado, dibujaremos dos, una por cada parte con el mismo voltaje. Obviamente debemos mantener las tomas de tierra en común. Las modificaciones sirven solo para simplificar los cálculos. El circuito real es siempre el que tiene el divisor a la entrada.

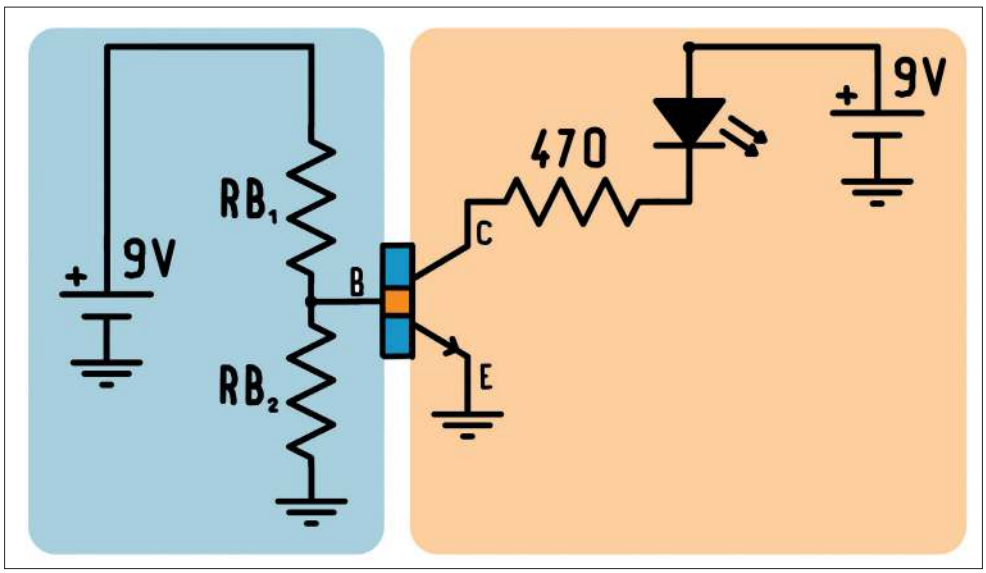


Figura 4.18 – Para calcular el equivalente de Thevenin debemos modificar el esquema del circuito de manera que los cálculos sean más sencillos; duplicamos la batería utilizada para la alimentación para tener dos circuitos distintos a la derecha y a la izquierda del transistor.

Ahora Thevenin nos indica que debemos sustituir todos los generadores con un cortocircuito. Así, ambas resistencias, R_{B1} y R_{B2} quedan situadas en paralelo. Calculamos la resistencia equivalente y la llamamos R_{EQ}.

$$R_{EQ} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

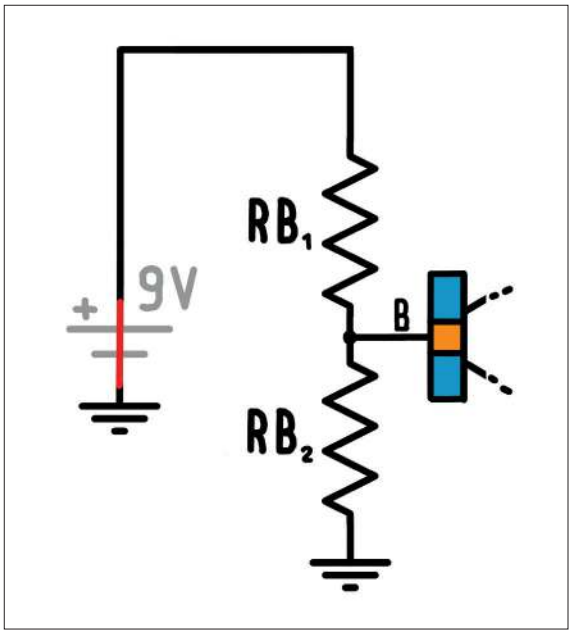


Figura 4.19 – Eliminamos los generadores y reagrupamos las resistencias hasta tener un generador y un resistor.

Para calcular el valor del generador equivalente de Thevenin, hacemos como si el transistor no estuviera y consideramos solo el anillo formado por el generador y por las dos resistencias en serie. La tensión del generador equivalente es igual a la caída de tensión en la resistencia R_{B2}. Calculamos la corriente que circula por el anillo en sentido horario y sumando las tensiones:

$$V_{cc} - R_{B1} \cdot i - R_{B2} \cdot i = 0$$

Volvemos a escribir la fórmula llevando a la izquierda del igual la tensión de alimentación:

$$V_{cc} = R_{B1} \cdot i - R_{B2} \cdot i$$

Recogemos la corriente I_{eq}:

$$V_{cc} = i\left(R_{B1} + R_{B2}\right)$$

Volvemos a escribir la fórmula para obtener la corriente:

$$i = \frac{V_{cc}}{\left(R_{B1} + R_{B2}\right)}$$

Nos interesa calcular la tensión en R_{B2}, que denominamos *tensión del generador equivalente de Thevenin*:

$$V_{eq} = R_{B2} \cdot i$$

Tratamos de insertar valores en las fórmulas para ver qué ocurre. Con R_{B1} = 100 kΩ y R_{B2} = 20kΩ, Vcc = 9 V tenemos que:

$$R_{eq} = \frac{20 \cdot 100}{20 + 100} = 16{,}67 \text{ k}\Omega$$

$$i = \frac{9}{20 + 100} = 0{,}075 \text{ mA} = 75 \, \mu\text{A}$$

$$V_{eq} = 20 \text{ k}\Omega \cdot 0{,}075 \text{ mA} = 1{,}5 \text{ V}$$

El circuito equivalente tiene una resistencia de 16,67 kΩ y un generador de 1,5 V. Ahora podemos calcular la corriente de base del transistor calculando la suma de las tensiones en el anillo a su entrada formado por el generador equivalente, por la resistencia equivalente y por la caída de tensión en la unión entre base y emisor del BJT. No conocemos la caída de tensión, pero si queremos que el transistor esté en actividad, debe ser al menos de 0,5 V. Supongamos que valga exactamente 0,5 V.

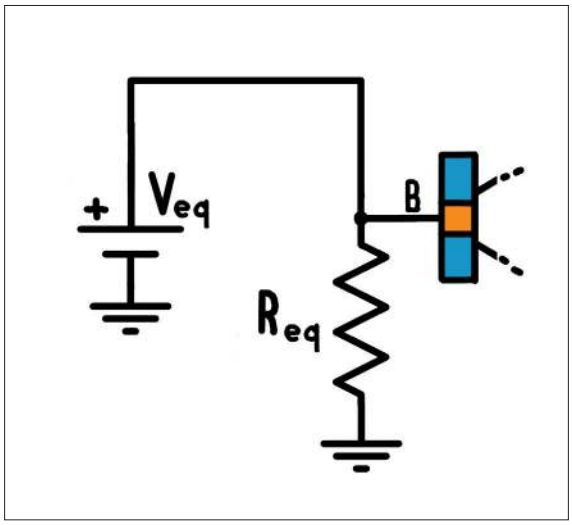


Figura 4.20 – Esquema teórico con el transistor conectado al generador y a la resistencia equivalente.

Las tensiones en el anillo:

$$V_{eq} - i_B \cdot R_{eq} - 0{,}5 = 0$$

La corriente de base será:

$$i_B = \frac{(1{,}5 - 0{,}5)\,V}{16{,}67\ k\Omega} = 0{,}060\ mA = 60\ \mu A$$

Con la corriente de base podemos calcular la corriente en el colector.
Probemos a cambiar el valor de una de las resistencias: R_{B1} = 100 kΩ y R_{B2} = 5 kΩ, V_{cc} = 9 V. Así, veremos que: R_{eq} = 4,76 kΩ y V_{eq} = 0,428 V, que es menor que 0,5 V. Tenemos un problema, porque la tensión entre base y emisor del transistor debe ser al menos de 0,5 V, si no el transistor está apagado. Por tanto, es recomendable elegir de forma adecuada las resistencias del divisor de manera que la V_{BE} pueda ser claramente superior a 0,5 V.
Volvamos al cálculo de la corriente de colector. Para el transistor 2N2222 la beta vale unos 200, por lo que:

$$i_C = \beta \cdot i_B = 200 \cdot 0{,}060\ mA = 12\ mA$$

Esta es la corriente que circulará entre el colector y el emisor si V_{CE} es superior a 0,3 V; si no, el transistor estaría apagado. La tensión V_{CE} depende de las resistencias que hemos conectado al emisor o al colector del BJT. En nuestro caso, tenemos solo R_C y el anillo de salida está formado por V_{CE}, por la tensión en R_C y por la alimentación a 9 V. Recorriendo el anillo podemos escribir que:

$$V_{CC} = V_{CE} + i_C \cdot R_C$$

y, por tanto,:

$$V_{CE} = V_{CC} - i_C \cdot R_C$$

Si R_C fuera igual a 10 kΩ tendríamos que:

$$V_{CE} = 9\ V - 12\ mA \cdot 10\ k\Omega = 9\ V - 120\ V = -111\ V$$

Con la alimentación a 9 V, el valor que hemos obtenido es improbable y significa que, en realidad, V_{CE} será igual a 0 V y, por tanto, el transistor estará apagado. Probemos a disminuir el valor de R_C hasta 1 kΩ:

$$V_{CE} = 9\,V - 12\,mA \cdot 1\,k\Omega = 9\,V - 12\,V = -3\,V$$

En este caso tampoco circularía corriente, pero con R_C igual a 100 Ω:

$$V_{CE} = 9\,V - 12\,mA \cdot 100\,\Omega = 9\,V - 1{,}2\,V = 7{,}8\,V$$

Ahora el transistor funcionará correctamente. Lo que también podríamos haber hecho es fijar en primer lugar el valor de V_{CE} deseado para, después, determinar la R_C. Por ejemplo, podríamos querer que V_{CE} estuviera a mitad de camino respecto a la tensión de alimentación y, por tanto, que fuera igual a 4,5 V y después determinar la resistencia Rc más adecuada. Si partimos de la siguiente fórmula:

$$V_{CE} = V_{CC} - i_C \cdot R_C$$

Obtenemos R_C como:

$$R_C = \frac{(V_{CC} - V_{CE})}{i_C}$$

Sustituimos los valores de V_{CE} = 4,5 V, V_{CC} = 9 V i I_C = 12 mA:

$$R_C = \frac{(9 - 4{,}5)\,V}{12\,mA} = \frac{4{,}5\,V}{12\,mA} = 375\,\Omega$$

Así, podríamos utilizar una resistencia de 390 Ω, que es el valor comercial que más se aproxima a nuestros cálculos. De este modo, el transistor está encendido en el centro de su región de funcionamiento y, si aplicáramos una señal en la base, sería amplificada. Las señales no se aplican directamente al circuito, sino que se utilizan condensadores para bloquear las tensiones continuas que podrían modificar el estado del transistor. Los condensadores aíslan el circuito y dejan pasar solo las señales variables.

Añadimos dos condensadores electrolíticos con un valor de unas decenas de microfaradios, uno a la entrada y el otro a la salida de nuestro circuito.

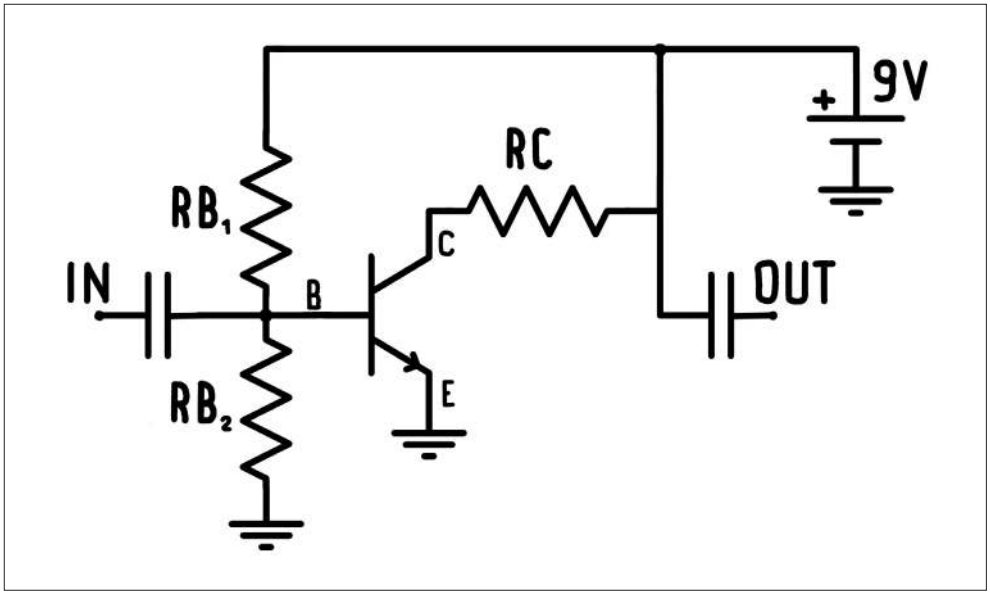


Figura 4.21 – El circuito del amplificador con transistor con los condensadores electrolíticos situados a la entrada y a la salida.

A la práctica, el esquema final que se suele adoptar utiliza también una resistencia en el emisor. Esta resistencia sirve para estabilizar el funcionamiento del amplificador. Normalmente se conecta también un condensador de unas decenas de microfaradios en paralelo a R_E para que el componente intervenga solo para la polarización. Ante cualquier señal variable, el condensador se comporta como un cortocircuito y es como si la resistencia del emisor desapareciera, garantizando así una mayor ganancia.

Los circuitos presentan siempre esta doble modalidad de funcionamiento: una es a balón parado, donde lo que preocupa son las tensiones de alimentación y la polarización de los elementos, es decir, situarlos en las condiciones de trabajo óptimas, y la otra es la de las señales que varían en el tiempo. Cuando se razona de este modo, los condensadores pueden considerarse como cortocircuitos y las fuentes de alimentación pueden ignorarse. Esta modalidad también se define como *pequeñas señales*. En realidad, ambas modalidades, la de funcionamiento en polarización y la de pequeñas señales, coexisten. Hay un principio denominado *superposición*

de efectos que garantiza que el mundo estático y dinámico se puedan considerar por separado para comprender su funcionamiento y después reunir sin que haya diferencias en el comportamiento general.

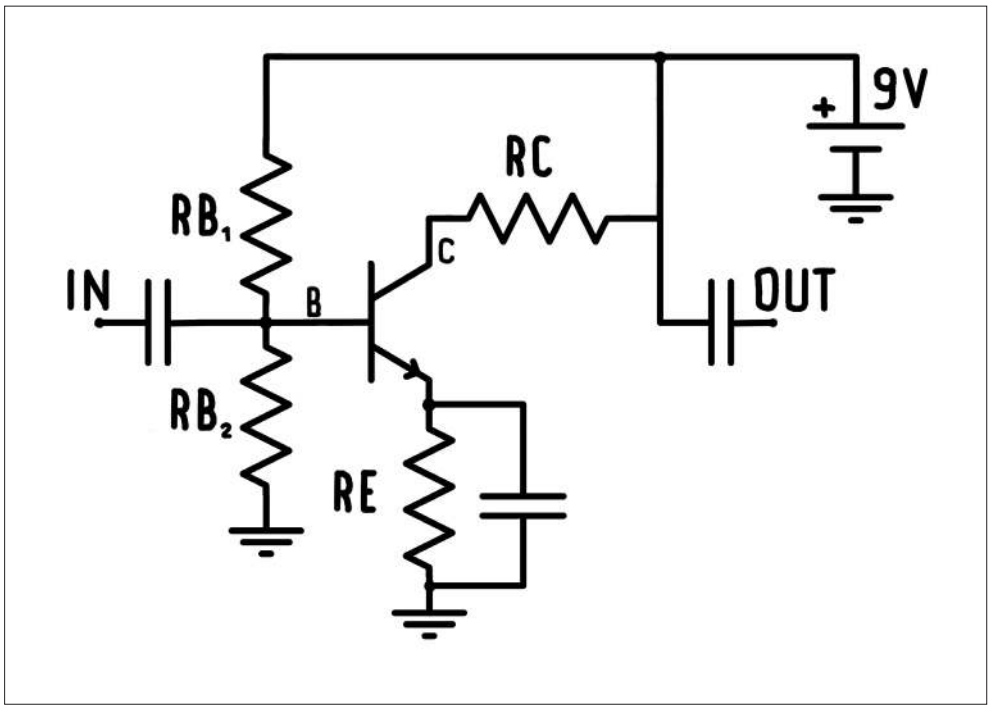


Figura 4.22 – Esquema final del amplificador con transistor.

Medir los transistores

La beta del transistor es siempre una incógnita. A veces tenemos en nuestras manos componentes sobrantes, comprados en algún mercadillo o desmontados de alguna placa electrónica antigua, de los cuales no sabemos nada. Muchos multímetros modernos tienen la función prueba transistor para comprobar si el transistor es NPN o PNP y medir la beta. En el multímetro vemos una serie de orificios marcados con las letras E, B, C donde se coloca el componente que hay que probar.

Insertamos los terminales del componente en los orificios, giramos el selector central a NPN o PNP y, en la pantalla, podremos leer el valor de la beta. Si no ocurre nada, si el valor es igual a cero o si la pantalla parpadea, debemos comprobar si hemos insertado el transistor correctamente o probar otra configuración. Vamos probando todas las combinaciones de pines para verificar si el BJT funciona.

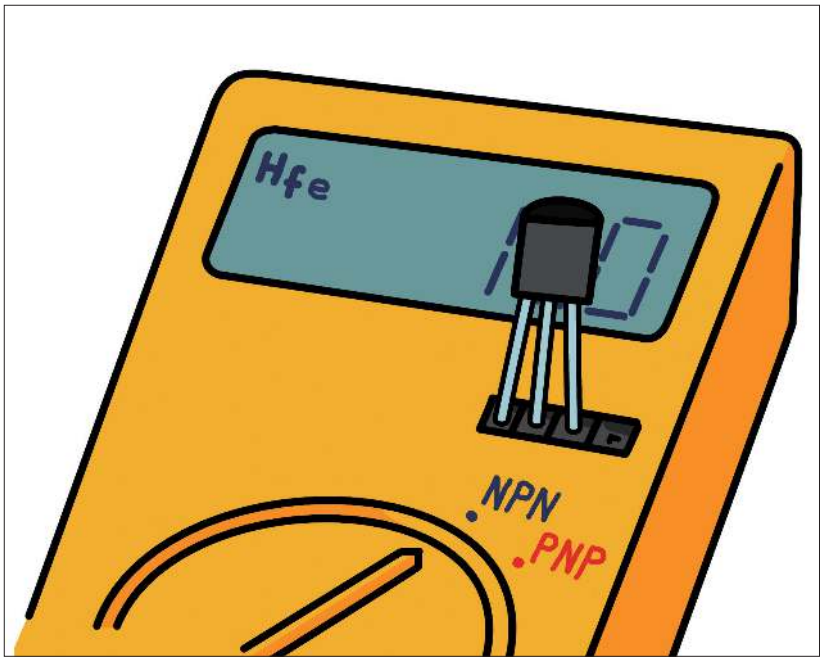


Figura 4.23 – Comprobación de un transistor con el prueba transistor presente en un multímetro.

El transistor de efecto de campo

El transistor de efecto de campo (FET) es un dispositivo de tres terminales que se obtiene combinando los materiales semiconductores de forma distinta a los transistores bipolares. Los FET tienen un canal principal por el cual circula la corriente con dos piezas de inserción en la parte central, realizadas con un semiconductor de tipo opuesto que forma una unión PN y que, por tanto, se comporta como un diodo. Por esa razón, los transistores fabricados con esta tecnología se denominan también J-FET, es decir, Junction-FET (*de unión*, porque contienen una unión PN). Cuando la unión PN se polariza inversamente, puede limitar o impedir el paso de la corriente en el canal principal.

El funcionamiento es comparable al de un grifo cuya apertura está controlada por un flujo de agua en lugar de un mando. Los tres terminales del FET se denominan drenaje (*drain*), fuente (*source*) y puerta (*gate*). La puerta es el terminal de control.

Las diferencias con el transistor bipolar son:

- el FET es un dispositivo controlado por una tensión aplicada a la puerta y no por una corriente;
- la corriente circula entre el drenaje y la fuente incluso si no existe tensión alguna aplicada sobre la puerta, porque no encuentra ningún obstáculo;

- la puerta (casi) no absorbe corriente (solo unos picoamperios);
- si se usa como amplificador, no amplifica mucho, sino que absorbe corriente de los dispositivos que conectamos a la entrada (resulta excelente para señales muy débiles).

Existen FET de tipo P y de tipo N, según el material utilizado para el canal principal.

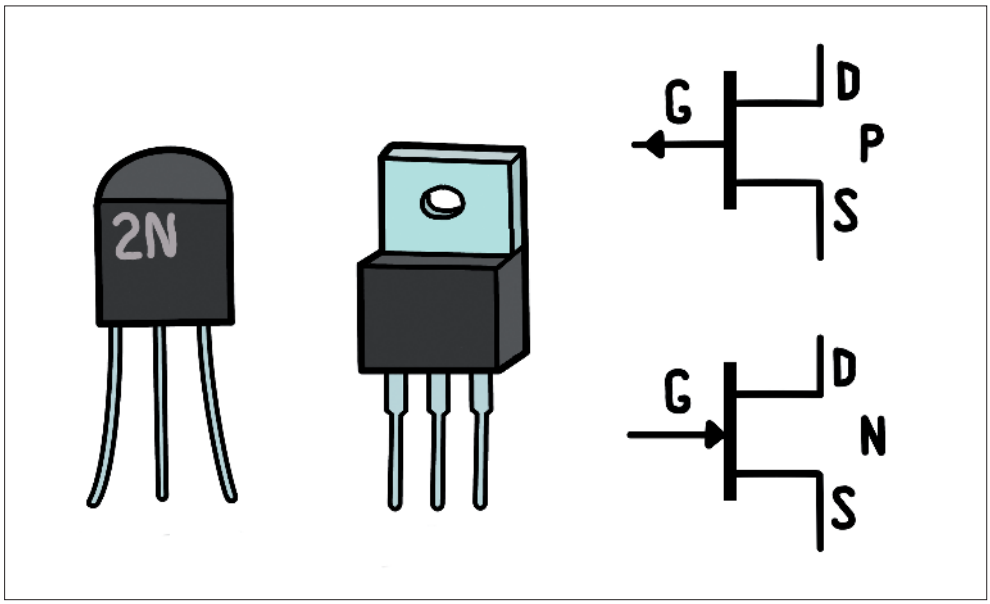


Figura 4.24 – Transistores FET y sus símbolos.

El transistor de efecto de campo presenta modalidades de funcionamiento que son distintas a las del transistor BJT:

- Región óhmica o lineal: el dispositivo se comporta como un resistor, cuyo valor depende de las tensiones aplicadas.
- Saturación: la corriente entre el drenaje y la fuente es controlada directamente por la tensión en la puerta.
- Corte: cuando la tensión de puerta es menor que un valor determinado, el transistor se comporta como un circuito abierto.
- Ruptura o avalancha: cuando la tensión entre drenaje y fuente supera un valor determinado, el efecto de control desaparece y la corriente fluye libremente por el dispositivo.

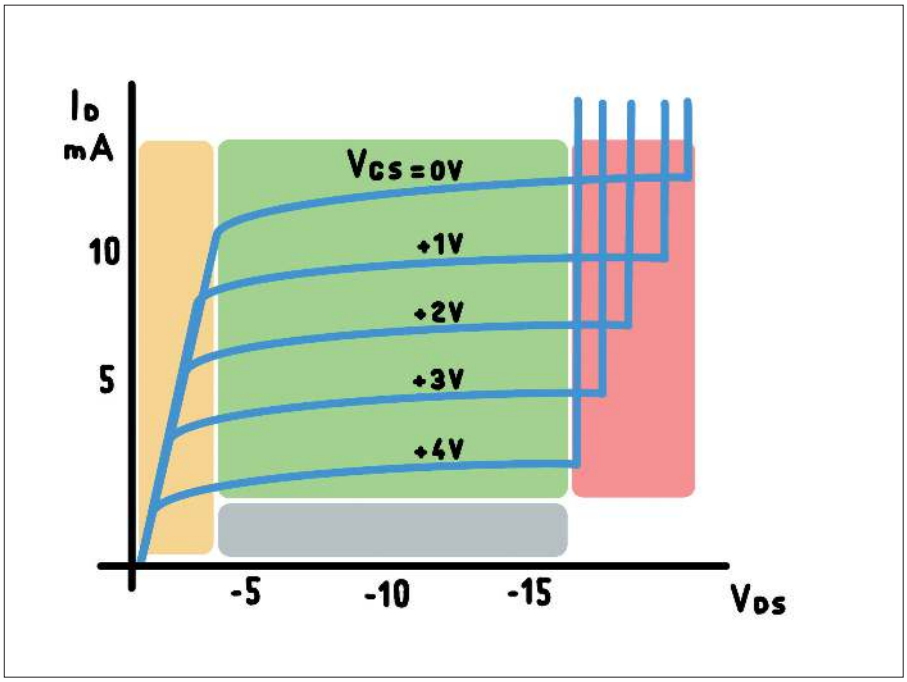


Figura 4.25 – Gráfico de funcionamiento de un transistor FET sobre el cual se indican las distintas zonas de funcionamiento (lineal en amarillo, saturación en verde, corte en gris y ruptura en rosa). Por cada diferencia de potencial aplicada entre puerta y fuente obtenemos una curva distinta.

Los FET se venden en los mismos paquetes de plástico o metálicos que se utilizan para los transistores bipolares. Como siempre, antes de utilizarlos debemos comprobar en la hoja de especificaciones la disposición de los terminales. Algunos de los modelos más comunes son el 2N5457 y el 2N5460. En realidad, los FET no son muy conocidos y no son demasiado prácticos de usar. Habitualmente se utilizan transistores MOSFET, mucho más comunes y sencillos de utilizar.

Transistores MOSFET

Los transistores MOSFET pertenecen a la familia de los transistores FET y tienen un comportamiento similar a los J-FET. Estos también tienen tres terminales denominados puerta, fuente y drenaje. Si se aplica una tensión a la puerta, se puede controlar la corriente que circula por el semiconductor al que están conectados el drenaje y la fuente (también denominado canal). A través de la puerta de los transistores J-FET pasa una corriente muy pequeña (solo de unos pA, picoamperios), pero en el MOSFET esta corriente es aún más pequeña, de hecho, presentan una resistencia de entrada de un $10^{14}\,\Omega$ contra los $10^{9}\,\Omega$ de los J-FET. Este tipo de transistores también

está fabricado utilizando semiconductores de tipo P y N. La puerta de los MOSFET está eléctricamente aislada del canal entre drenaje y fuente y forma una especie de condensador. Por este motivo, son muy sensibles a la electricidad estática y deben manipularse con cuidado para evitar dañarlos con un simple toque. Como precaución, podemos utilizar unos brazaletes antiestáticos especiales que se conectan con un cable a la toma de tierra: un grifo, un radiador y la toma de tierra de nuestra casa. También puede irnos bien un armario grande metálico.
Existen dos tecnologías de fabricación denominadas *enanchment* y *depletion* y, para cada una de ellas, existen dos variantes: de canal N y de canal P.

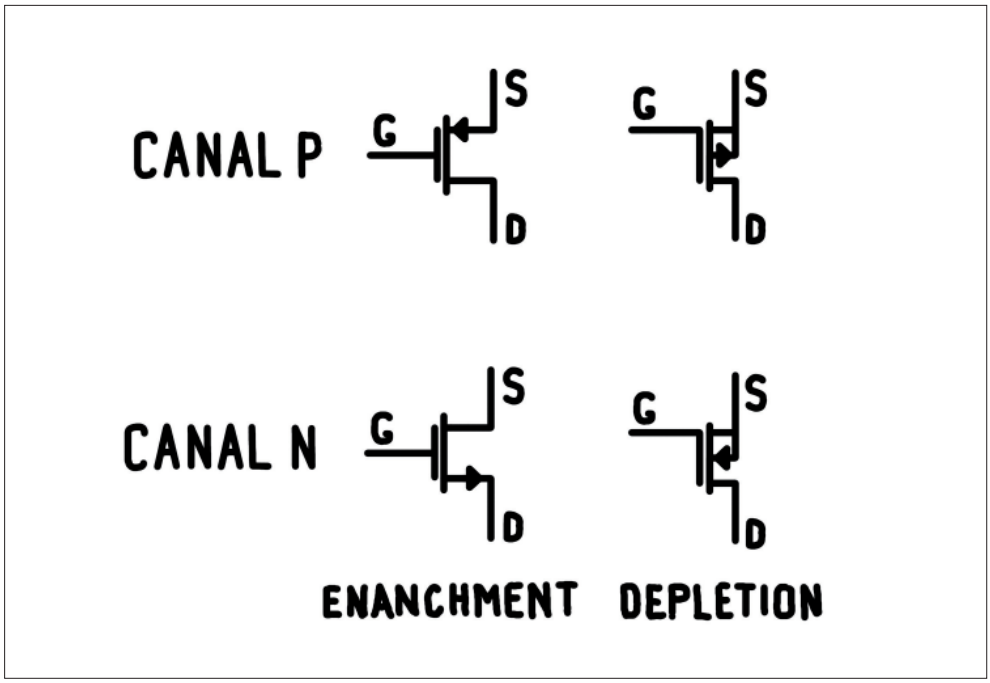


Figura 4.26 – Símbolos de los circuitos de MOSFET de canal N y P de tipo *enanchment* y *depletion*.

Un MOSFET de tipo *depletion* siempre deja pasar la corriente entre drenaje y fuente, mientras que en un dispositivo de tipo *enanchment* el canal está cerrado hasta que no se aplica una tensión sobre la puerta. La tabla siguiente resume los distintos comportamientos. Se entiende que los dispositivos de canal N son más inmediatos de usar porque requieren una tensión positiva, aplicada entre la puerta y la fuente, con un valor entre 0 V y la tensión de alimentación del circuito. En los dispositivos de tipo P, la tensión entre puerta y fuente debe ser negativa.

Tabla 4.1 - Esquema resumen del comportamiento de los MOSFET.

	Canal N		Canal P	
	V_G	Estado	V_G	Estado
Enanchment	0 V	OFF	0 V	OFF
	+V	ON	-V	ON
Depletion	0 V	ON	0 V	ON
	+V	OFF	-V	OFF

El MOSFET como interruptor

El uso más sencillo de un transistor MOSFET es como interruptor controlado por una tensión. Vamos a intentar hacer un experimento utilizando un MOSFET *enanchment* de canal N, como el 2N7000 o el IRF520. Para controlar el dispositivo es necesario trabajar sobre la tensión V_{GS}, es decir, la diferencia de tensión entre puerta y fuente. El transistor formará parte de un circuito y estará conectado a otros componentes. Al conectar la alimentación, todos los puntos llegarán a una tensión determinada. Podemos utilizar un tester, con la sonda negra en el polo negativo, para verificar la tensión presente en cada uno de los puntos. Supongamos que tocamos con la sonda el terminal correspondiente a la puerta y que obtenemos 7 V. A continuación, tocamos la fuente y obtenemos 5 V.

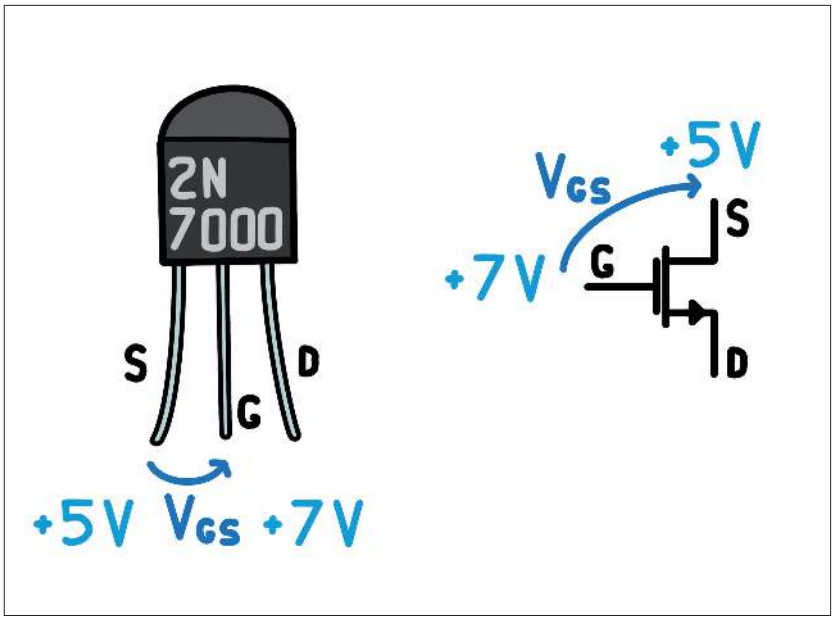


Figura 4.27 – En el circuito de esta figura, la V_{GS} vale 2 V porque la puerta está a 7 V y la fuente a 5 V.

Escribir V_{GS} equivale a decir "la diferencia de tensión entre el punto G y el punto S":

$$V_{GS} = V_G - V_S = 7\,V - 5\,V = 2\,V$$

La V_{GS} del ejemplo será, por lo tanto, igual a +2 V. Si tuviéramos que medir 3 V en la puerta y 7 V en la fuente, obtendríamos una tensión V_{GS} igual a -4 V. Así es como podemos obtener tensiones de control negativas.
El mismo procedimiento vale para V_{DS}; medimos la tensión del punto D respecto a la toma de tierra y después sustraemos la tensión del punto S, siempre respecto a la toma de tierra.
Intentemos construir el circuito de la figura 4.28 en una placa de pruebas. Esto es lo que necesitamos:

- una placa de pruebas;
- un MOSFET 2N7000;
- un led;
- una resistencia de 390 Ω;
- una resistencia de 1 MΩ;
- unos cuantos *jumpers*;
- una batería de 9 V con clip.

La siguiente figura muestra el esquema eléctrico.

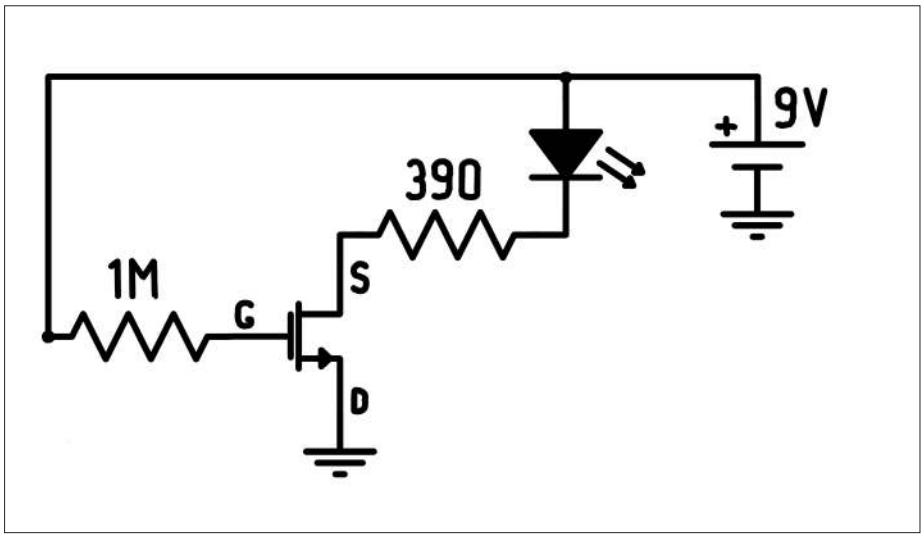


Figura 4.28 – Esquema eléctrico de un MOSFET conectado a un led. La puerta está conectada a 9 V con una resistencia de 1 MΩ.

Conectamos la puerta a una toma de tierra y alimentamos la placa de pruebas. El led se encuentra apagado. Podemos medir la tensión en la puerta y en la fuente, que son iguales a 0 V. V_{GS} también es igual a 0 V y el MOSFET no conduce.

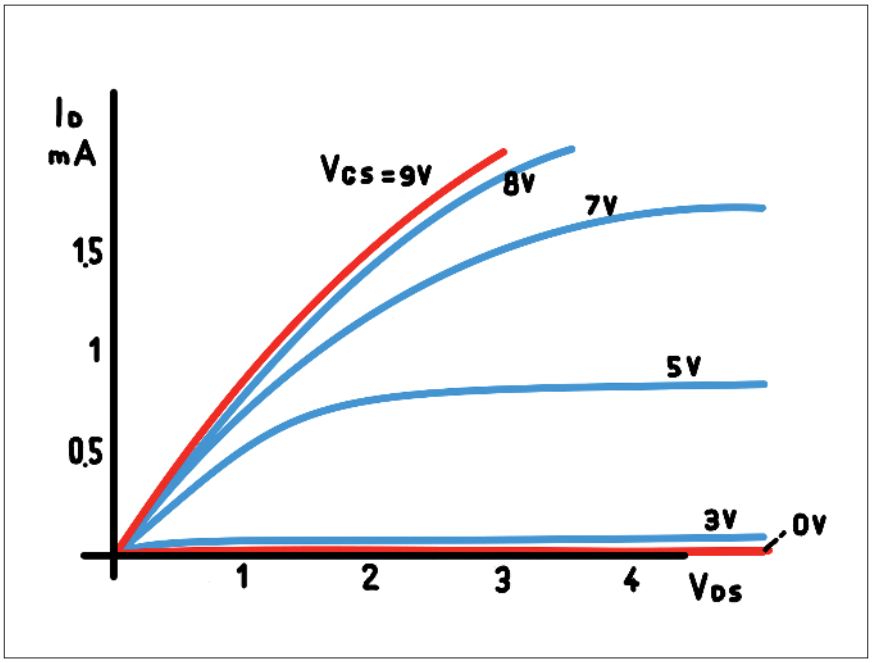


Figura 4.29 – En el gráfico se muestran las curvas para VGS iguales a 0 V y a 9 V.

El resistor de 1MΩ sirve para compensar corrientes parásitas que podrían volver inestable el transistor. Cuando el resistor se conecta a la toma de tierra, a través de él no circula corriente o pasa muy poca y, por lo tanto, la puerta se puede mantener a 0 V.
A continuación, modificamos el circuito conectando la puerta, siempre mediante el resistor de 1MΩ, a la tensión de alimentación. Ahora la fuente está a 0 V, pero la puerta llega a 9 V, por lo que V_{GS} es igual a 9 V. En este momento, el led se enciende porque el canal está abierto gracias a la tensión aplicada a la puerta, que reduce la resistencia casi hasta cero. También en este caso podemos considerar que la puerta está a 9 V, aunque haya por medio la resistencia de 1MΩ, que es atravesada por corrientes minúsculas.

El MOSFET en la región lineal

Hemos analizado los casos extremos, con la tensión de la puerta a 0 V o a la tensión de alimentación. ¿Qué ocurre cuando V_{GS} alcanza valores intermedios? Modifiquemos

de nuevo el circuito insertando un trimmer que sea capaz de hacer variar la tensión de la puerta entre un valor mínimo y uno máximo.

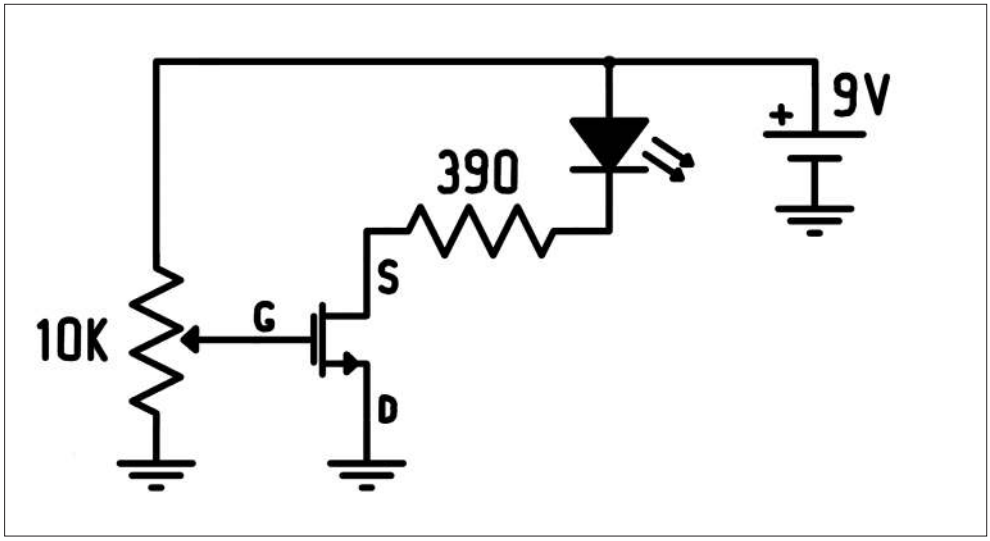


Figura 4.30 – En este esquema, la puerta del MOSFET está conectada a un trimmer con el cual podemos modificar a nuestro gusto la V_{GS}.

Al girar el cursor del trimmer, el led variará su luminosidad porque, al intervenir sobre V_{GS}, estamos modificando la corriente que puede circular entre drenaje y fuente.
Si sustituimos el transistor 2N7000 con un MOSFET *depletion* de tipo N, deberíamos observar el comportamiento contrario: al aplicar 0 V a la puerta, la corriente circula por el canal y el led está encendido. Aumentando la tensión en la puerta, la corriente disminuirá y el led, a un cierto punto, se apagará. Podríamos utilizar un transistor como el DN2530 (cuidado con la disposición de los terminales).
Si utilizáramos un MOSFET de tipo P, deberíamos modificar el circuito de algún modo, porque, para funcionar necesita una V_{GS} menor que 0 V. Esto no significa que utilice una alimentación dual, sino que V_S debe ser mayor que V_G.

Logic Level MOSFET

En alguna ocasión, quizás tengamos que controlar un dispositivo que necesita una alimentación distinta a la tensión máxima que podemos aplicar a la puerta. La situación típica sería que queremos controlar con Arduino el encendido de una lámpara o de una banda de ledes de 12 V. Arduino controla las lámparas mediante un MOSFET que acciona con una señal que llega como máximo a los 5 V. Como acabamos de ver,

en este caso el canal MOSFET no estará completamente abierto y presentará una resistencia determinada; las lámparas no se encenderán con su luminosidad máxima. Podríamos resolver el problema utilizando un par de transistores o bien sustituyendo el componente con un transistor de tipo especial: un Logic Level MOSFET, capaz de alcanzar la máxima apertura, aunque se aplique a la puerta una señal de solo 5 V. El MOSFET FQP30N06L es un dispositivo *enanchment* de tipo N.

Circuitos integrados

Un circuito integrado es un circuito en miniatura creado sobre un pequeño rectángulo de silicio (el chip), sobre el cual se colocan transistores y componentes pasivos, como resistores y condensadores. El chip es muy delicado y por ello se encuentra encerrado en un contenedor dotado de una serie de patillas, denominadas pines, para conectarlo eléctricamente al mundo exterior. Cada pin está conectado al chip con unos finísimos cables dorados.

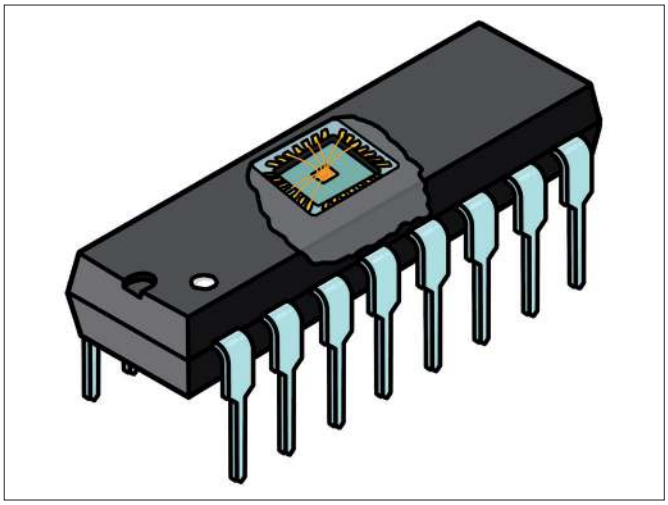


Figura 4.31 – Un circuito integrado en el cual se puede observar, en transparencia, el chip y sus conexiones hacia los pines.

En electrónica, podríamos realizar cualquier función utilizando solo transistores. Incluso un simple circuito, como un temporizador o *timer*, necesitaría cientos de componentes que cada vez deberíamos rediseñar desde cero. Por ese motivo, tras la invención del transistor bipolar, mucha gente empezó a pensar en cómo ahorrar tiempo y dinero, creando circuitos complejos con la misma tecnología empleada en la creación de transistores bipolares.

Tras la disolución del equipo que creó el primer transistor, Shockley fundó una sociedad para producir semiconductores. La sociedad no tuvo demasiado éxito y algunos empleados la abandonaron. Entre ellos, Robert Noyce, que creó la Fairchild Semiconductor. Noyce experimentaba con semiconductores, tratando de utilizar el silicio en lugar del germanio y creando nuevas tecnologías para colocar componentes sobre fragmentos de semiconductor con procedimientos innovadores, utilizando vapores metálicos y uniones PN. Noyce puede considerarse el inventor de los circuitos integrados, aunque en aquellos años había una gran actividad y no era el único que trabajaba en ello. En la Texas Instruments, Ted Kilby intentaba crear con silicio otros componentes pasivos. El primer circuito integrado auténtico vio la luz sobre 1960: una unidad de memoria elemental denominada biestable (en inglés, *flip-flop*) creada con transistores y resistencias. Los primeros chips eran muy caros y llevaban a cabo funciones simples. Se utilizaban solo cuando existían vínculos de espacio y de peso. Por aquel entonces, Gordon Moore anunció la famosa ley que lleva su nombre según la cual el número de transistores y el rendimiento de los procesadores se duplica cada dieciocho meses. En 1965, Moore y Noyce fundaron la compañía Intel. La ley de Moore es empírica, aunque bastante real. El verdadero límite lo ponen las dimensiones físicas que los procesos de fabricación serán capaces de alcanzar. A consecuencia de esta ley, el precio de los chips está bajando cada vez más. El primer biestable costaba 1000 $ en los años 60, ahora, un chip con cuatro biestables cuesta unos diez centavos.

Existe un modo de clasificar los circuitos integrados según su complejidad y, por tanto, el número de transistores que contienen. Podemos encontrar siglas del tipo *Small Scale Integration* (SSI), *Medium Scale Integration* (MSI), *Large Scale Integration* (LSI), *Very Large Scale Integration* (VLSI) o *Ultra Large Scale Integration* (ULSI). En realidad, la sigla no nos dice mucho, pero nos hace pensar cuánto podría incidir sobre el precio.

En el mercado hay distintos tipos de paquetes para circuitos integrados. Para nuestros experimentos utilizaremos circuitos integrados con el paquete DIL, es decir, *Dual In Line*, que tienen dos filas paralelas de pines con una distancia de una décima de pulgada y separados entre sí unas tres décimas de pulgada. Estos circuitos integrados pueden insertarse sin problemas sobre una placa de pruebas, sobre la ranura central. Los chips se identifican con una sigla impresa en la parte superior. Cada patilla tiene su función concreta, que se puede conocer leyendo la hoja de especificaciones del componente. Los pines están numerados empezando por el situado arriba a la izquierda y girando en sentido antihorario. El pin número uno está señalado con un punto, una muesca o una banda de color blanco.

El símbolo que se utiliza para representar un circuito integrado es un simple rectángulo sobre cuyo perímetro se indican los pines, eventualmente marcados por un número y una sigla que describe su función. Por ejemplo, RST significa *reset*, CLK o CK signi-

fica *clock*, entre otros. Los pines sobre el símbolo están dibujados del modo que más conviene al dibujo, pero no tienen ninguna relación con el componente real. Algunos circuitos integrados particulares tienen símbolos especiales, como en el caso de las puertas lógicas o los amplificadores operacionales.

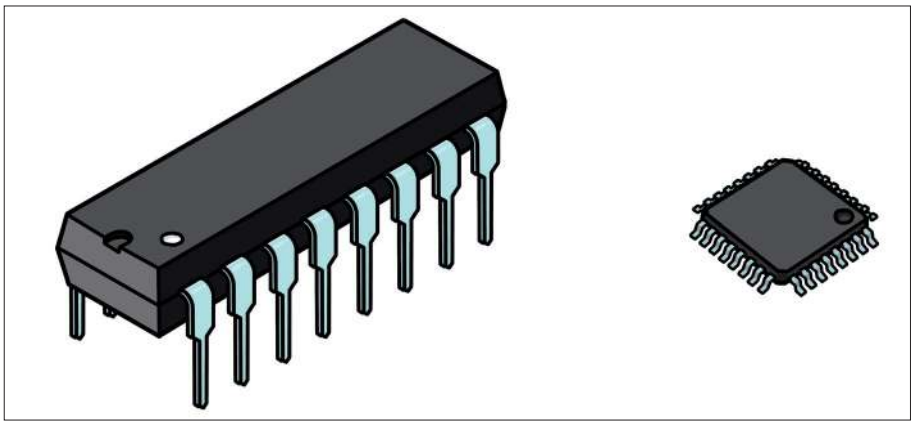


Figura 4.32 – Un circuito integrado con paquete DIL y uno de tipo SMD. Sobre ambos, el pin número uno se indica con un signo evidente.

Los circuitos integrados se pueden dañar fácilmente si no se utilizan de manera correcta o si se sobrecalientan demasiado, por ejemplo, mientras se sueldan. Si es posible, utilizaremos zócalos para insertar en ellos los chips. Si el circuito integrado está soldado, debemos tomar las precauciones oportunas para disipar el calor y evitar sobrecalentamientos. Muchos chips son particularmente sensibles a la electricidad estática y deben ser manejados con cuidado, como con los MOSFET, con brazaletes antiestáticos.

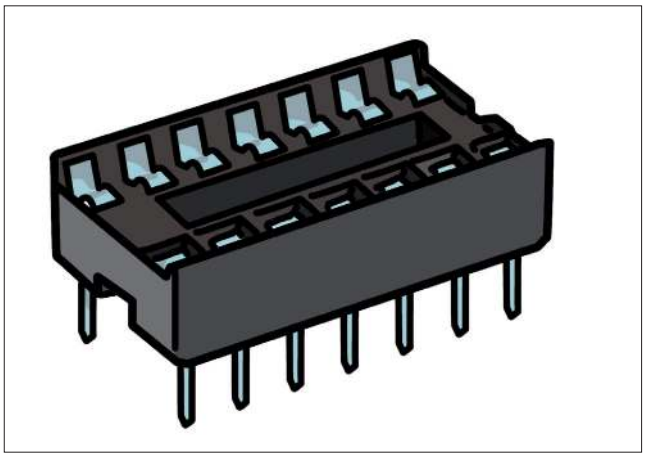


Figura 4.33 – Un zócalo para circuitos integrados DL.

Actualmente existen en el mercado un gran número de circuitos integrados capaces de cubrir todo tipo de funciones y necesidades. Sería difícil ofrecer una lista de chips indispensables porque las posibilidades son infinitas. Sin embargo, hay algunos circuitos que podrían considerarse pilares de la electrónica.

NE555

El chip NE555 es un temporizador muy versátil que nació a principios de los años 70 de una idea y del trabajo de Hans Camenzind, quien, completamente solo y en pocos meses, realizó una serie de prototipos hasta llegar a diseñar el máster para la creación del chip. Si se conecta al 555 una resistencia y un condensador es posible obtener temporizaciones bastante precisas. Puede funcionar como un temporizador de cocina que, una vez en marcha, finaliza después del tiempo ajustado, o bien como un oscilador, que produce una señal regular y continua en su pin de salida.

uA741

El chip uA741 contiene un tipo especial de amplificador de altísima ganancia, que cuenta con dos entradas. Este dispositivo se denomina amplificador operacional y se remonta a los tiempos de los ordenadores analógicos (ordenadores que utilizaban señales variables en lugar de bits). Conectando algunos resistores se puede controlar su potencia para amplificar de forma precisa y controlada cualquier tipo de señal. Este chip también es muy versátil y se presta a realizar una gran variedad de circuitos para la elaboración de señales, como filtros, consolas de sonido, osciladores, etc. El 741 nació en 1968 y puede considerarse un chip indispensable.

Familia 78xx

El 7805 es un pequeño circuito integrado que sirve para estabilizar la tensión que llega a su pin de entrada y proporcionar una tensión de 5 V estable y precisa en su pin de salida. Existen muchas otras versiones de este tipo de chip para obtener rápidamente tensiones de valores precisos: 6 V, 9 V, 12 V. A pesar de tener algunas limitaciones en la cantidad de corriente que puede proporcionar (como máximo, un amperio), y que puede calentarse también mucho, es muy utilizado e imprescindible cuando se trabaja con circuitos digitales y microcontroladores que requieren tensiones de alimentación estables y precisas.

LM317

Robert Widlar, genio de Silicon Valley y diseñador de muchos dispositivos electrónicos que se producen todavía hoy en día, ideó este regulador de tensión variable que se

controla con dos simples resistencias. La primera versión se remonta a 1970, cuando Widlar trabajaba en la empresa National Semiconductor. El LM317 es similar, como concepto de uso, a los reguladores de la serie 78XX, con la diferencia de que es regulable a nuestro gusto. Este dispositivo tampoco puede proporcionar corrientes elevadas y calentarse mucho.

LM386

¿Cómo podemos crear un amplificador de audio capaz de controlar un pequeño altavoz? O utilizamos un puñado de transistores, resistencias y condensadores o bien utilizamos el espectacular LM386 junto a un par de condensadores y, en pocos minutos, tenemos el amplificador preparado. El chip nació como un amplificador de audio para radio o pequeños amplificadores. En Internet existen numerosos proyectos para realizar pequeños amplificadores portátiles con el LM386. Este tiene solo ocho patillas y puede proporcionar hasta un vatio de potencia.

5

Proyectos y experimentos: entramos en el laboratorio

Entremos en el laboratorio y comprobemos juntos cuánto hemos aprendido en los capítulos anteriores. Necesitamos una placa de pruebas y algunos componentes para realizar unos sencillos experimentos prácticos.

Este capítulo tiene un carácter muy práctico. Afrontaremos juntos una serie de experimentos intentando poner en práctica las nociones teóricas aprendidas en las páginas anteriores. No necesitamos demasiado, solo una placa de pruebas, un tester, algún *jumper* y otros componentes que citaremos para cada ocasión. Si no disponemos de *jumper*s, podemos utilizar cable eléctrico común de núcleo rígido, de cobre.

Led con pulsador

Vamos a construir un circuito donde el led se encienda al pulsar un botón. Necesitamos:

- un pulsador normalmente abierto (por ejemplo, el modelo OMROM B3F de 12 mm o similar);
- un led;
- un resistor de 470 Ω;
- una placa de pruebas;
- una pila de 9 voltios con clip;
- *jumper*s o cables para las conexiones.

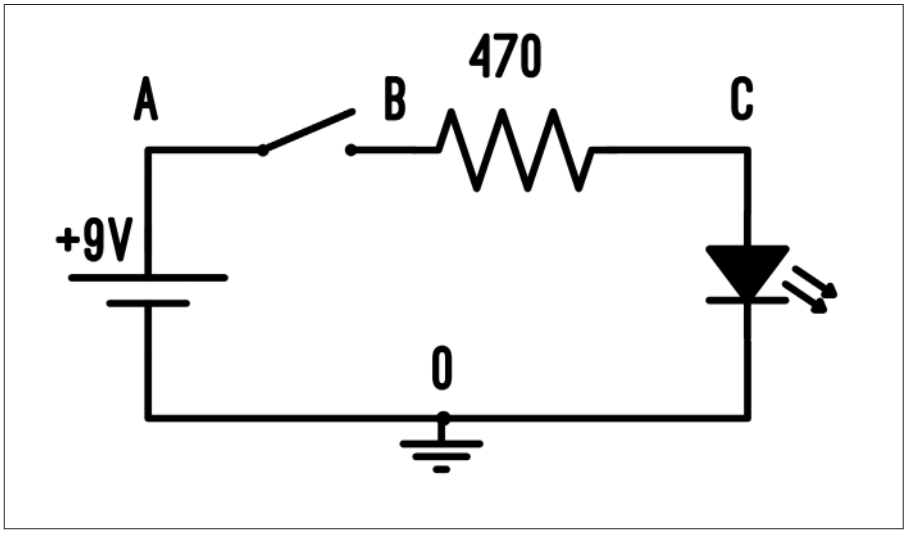


Figura 5.1 – Esquema eléctrico del circuito con led y pulsador.

Antes de empezar con el montaje de este sencillo circuito, analicemos su funcionamiento. El pulsador interrumpe el flujo de la corriente, pero, cuando lo pulsemos, esta fluirá a través de la resistencia y el led se encenderá. Para calcular la corriente presente en el circuito, observamos el único anillo existente, sumando las tensiones. Contamos con 9 voltios proporcionados por la batería, de los cuales extraemos la caída de tensión en la resistencia y la caída de tensión en los extremos del led, que suponemos que es de 2 voltios. Por lo tanto, tenemos que:

$$9 - iR - 2 = 0$$

Por lo que sobre la resistencia tenemos una caída de tensión de 7 V. La corriente será:

$$i = \frac{7\ V}{470\ \Omega} = 0{,}0148\ A = 14{,}8\ mA$$

Comprobaremos estos valores tras haber construido el circuito. El esquema es muy sencillo y nos sirve para practicar un poco con las placas de pruebas y los componentes:

1. Insertamos el pulsador en la placa de pruebas. Observamos que sus patillas están dispuestas solo en dos lados opuestos y el contacto abierto está entre los pines del mismo lado. El pulsador se coloca por encima del surco central de la placa de pruebas, con sus terminales en la tercera y quinta columnas.

2. Conectamos la resistencia de 470 Ω situando un terminal en la quinta fila (en la misma en la cual se encuentra la patilla del pulsador) y el otro terminal en la novena columna.
3. El led tiene el terminal positivo en la columna número nueve (la misma que el segundo terminal de la resistencia) y el cátodo en la columna diez. El terminal positivo es el más largo. En el lado del terminal negativo, el borde del led es plano.
4. Insertamos un *jumper* entre el raíl rojo de alimentación positiva que tenemos en el borde de la placa de pruebas y la columna tres (por ejemplo, en J-3).
5. Insertamos un *jumper* entre el raíl azul de alimentación negativa que tenemos en el borde de la placa de pruebas y la columna diez (por ejemplo, en J-10).
6. Conectamos los cables del clip de la batería a los raíles de la placa. Utilizamos los mismos en los cuales acabamos de colocar los *jumper*s.
7. Conectamos la batería de 9 V y pulsamos el botón para encender el led.

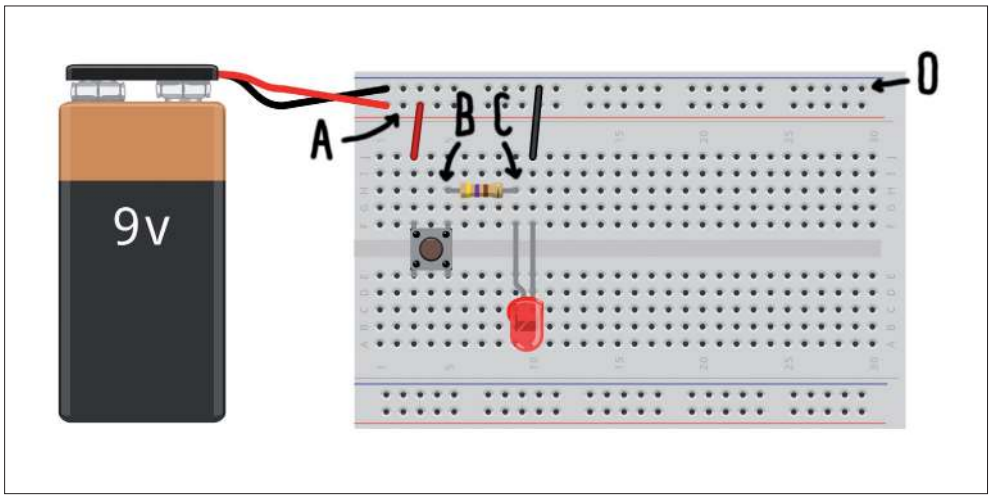


Figura 5.2 – El circuito del led con pulsador creado sobre la placa de pruebas.

Comprobamos los valores de tensiones y corrientes con un tester. Colocamos el instrumento para medir la corriente y, seguidamente, interrumpimos el circuito en cualquier punto. Insertamos las sondas y pulsamos el botón en la placa. El tester debería mostrar un valor de unos 15 mA. A continuación, restauramos el circuito y medimos las tensiones. Colocamos la sonda negra sobre el polo negativo de alimentación y exploramos con la sonda roja las distintas tensiones presentes en el circuito.
Probamos otros experimentos añadiendo otros pulsadores en serie o en paralelo.

Carga y descarga de un condensador

Modificamos el circuito del experimento anterior para comprobar cómo se produce la carga de un condensador. En los capítulos anteriores, hemos aprendido que un condensador se carga en un tiempo determinado, durante el cual se acumulan cargas sobre sus armaduras. Utilizaremos un condensador de 100 µF conectado en serie con una resistencia de 470 Ω y un led. La carga máxima se obtiene en menos de una décima de segundo. El tiempo de carga aproximado es de 5 RC y, en nuestro caso, tenemos 0,04 segundos. Cuando el condensador esté cargado, mantiene las cargas en su interior durante un tiempo determinado (por ese motivo, estos componentes pueden ser peligrosos y debemos prestar atención siempre cuando desmontemos viejos electrodomésticos que podrían contener condensadores cargados). Pulsamos el segundo pulsador para descargar el condensador a través del segundo led.

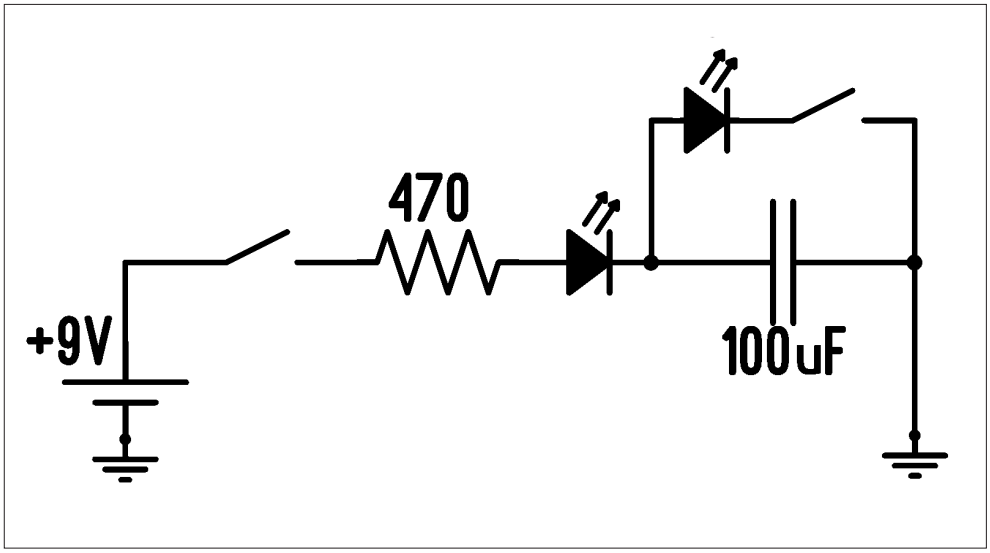


Figura 5.3 – Esquema eléctrico del circuito para comprobar la carga de un condensador.

Necesitamos:

- dos pulsadores normalmente abiertos (por ejemplo, un modelo OMROM B3F de 12 mm);
- un led rojo y uno verde;
- un resistor de 470 Ω;

- un condensador de 100 µF;
- una placa de pruebas;
- pila de 9 voltios con clip;
- *jumper*s o cables para las conexiones.

Esta vez no repetiremos la secuencia de montaje de forma detallada. Procedemos en orden insertando primero el pulsador del circuito de carga y después el condensador, la resistencia y el led. Conectamos el pulsador y el led a los raíles de alimentación. A poca distancia del primer circuito, añadimos el segundo pulsador y un led y utilizamos dos *jumper*s largos para conectarlos al condensador.

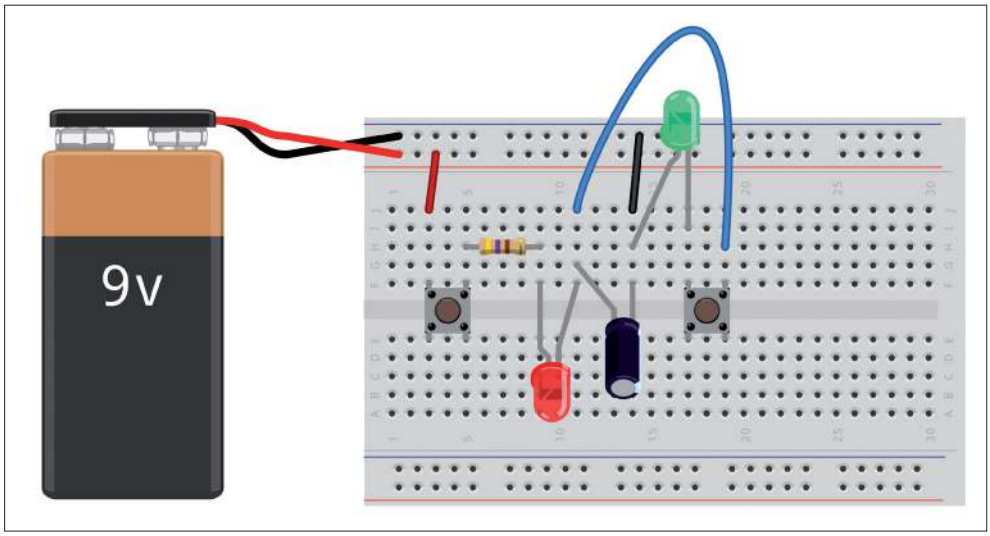


Figura 5.4 – Creación del circuito sobre una placa de pruebas.

Al pulsar el primer botón, la corriente empezará a circular mientras el condensador se carga. El led rojo parpadeará brevemente y después se apagará. Si pulsamos de nuevo el botón, no sucederá nada porque el condensador está cargado y ya no pasa corriente. Ahora pulsamos el segundo botón; así conectaremos el segundo led al condensador cargado. El condensador funcionará como una pequeña batería, alimentando durante un instante el led verde, que emitirá un breve destello de luz.

Experimento con un led y un diodo

Con este circuito comprobaremos el comportamiento de un diodo. Si se orienta correctamente, la corriente circulará y el led se encenderá.

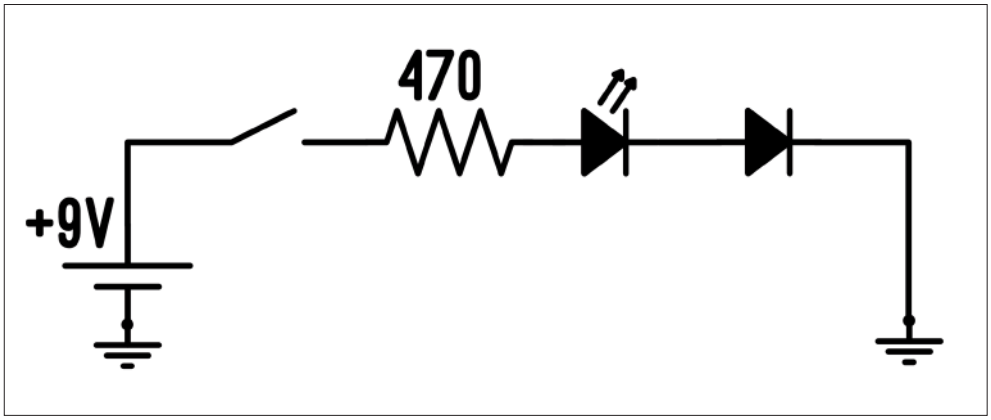


Figura 5.5 – Esquema eléctrico del circuito para comprobar el comportamiento de un diodo.

Necesitamos:

- un pulsador abierto (por ejemplo, el modelo OMROM B3F de 12 mm);
- un led;
- un resistor de 470 Ω;
- un diodo 1N4007;
- una placa de pruebas;
- pila de 9 voltios con clip;
- *jumper*s o cables para las conexiones.

Empezamos la construcción del circuito colocando el pulsador sobre la placa de pruebas. Seguidamente, insertamos la resistencia, el led y el diodo. El diodo tiene una pequeña banda blanca que indica el cátodo (terminal negativo). Debemos prestar atención a cómo lo insertamos en el circuito. El cátodo debería estar conectado con un pequeño *jumper* directamente al raíl de alimentación negativa. Así, el diodo está polarizado directamente y, cuando pulsemos el botón, el led se encenderá. Probemos a medir la corriente que circula por el circuito. Ahora obtendremos un valor ligeramente inferior a los 15 mA del circuito con solo el led y la resistencia. ¿Por qué?
Esta vez debemos tener en cuenta también la caída de tensión que se producirá sobre el diodo, que vale unos 0,7 V. El diodo, conectado de este modo, funciona en polarización directa. Además, el diodo para encenderse requiere una tensión mínima, que tiene un valor de unos 0,6/0,7 V. Sumemos las tensiones en el anillo:

$$9 - iR - 2 - 0{,}7 = 0$$

Esta vez hemos añadido 0,7 V que encontramos en los extremos del diodo, por lo que tendremos una caída de tensión en la resistencia de 6,3 V. La corriente será:

$$i = \frac{6{,}3\ \text{V}}{470\ \Omega} = 0{,}0134\ \text{A} = 13{,}4\ \text{mA}$$

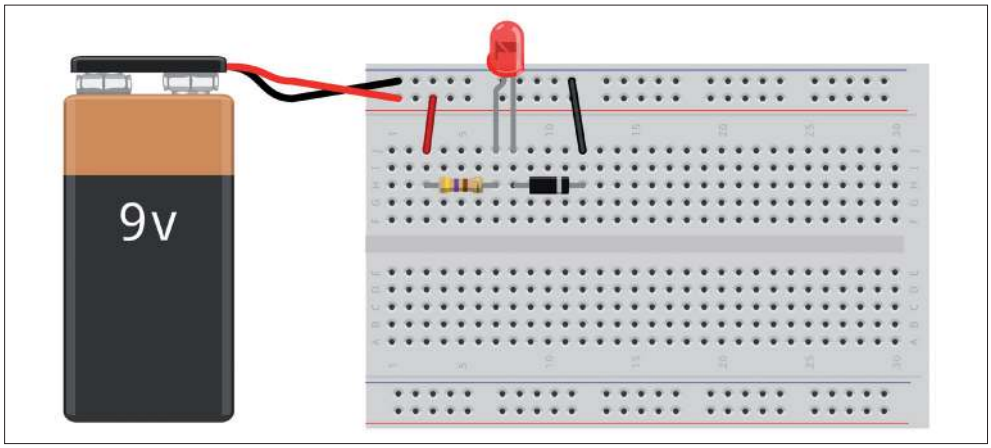


Figura 5.6 – Montaje del circuito con led y diodo sobre una placa de pruebas.

Comprobamos con el tester la tensión a los extremos del diodo. Apoyamos las sondas sobre los terminales del diodo y observamos la tensión existente. ¿Cuánto vale?
A continuación, modificamos el circuito invirtiendo el diodo. El terminal negativo (el de la banda blanca) debe estar conectado directamente al led y el otro terminal al raíl negativo. Pulsamos el botón. No debería ocurrir nada. El led no se enciende porque el diodo está en polarización inversa y no deja pasar corriente. Midamos las corrientes y las tensiones. ¿Cuánto valen?

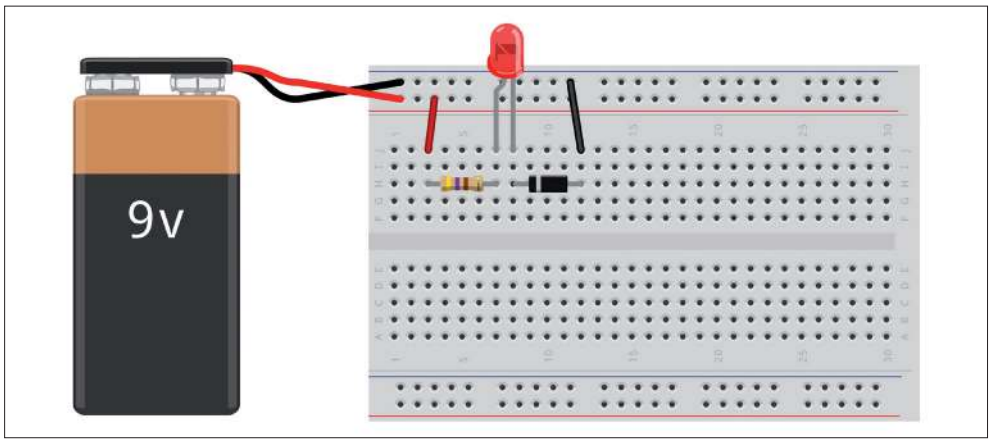


Figura 5.7 – Invertimos el diodo y lo situamos en polarización inversa; el led no se enciende.

Hola Transistor

Para este experimento utilizaremos un transistor para controlar un led. Al aplicar una corriente al terminal de control del transistor, la base, actuaremos sobre la corriente que pasa entre los otros dos terminales: emisor y colector.

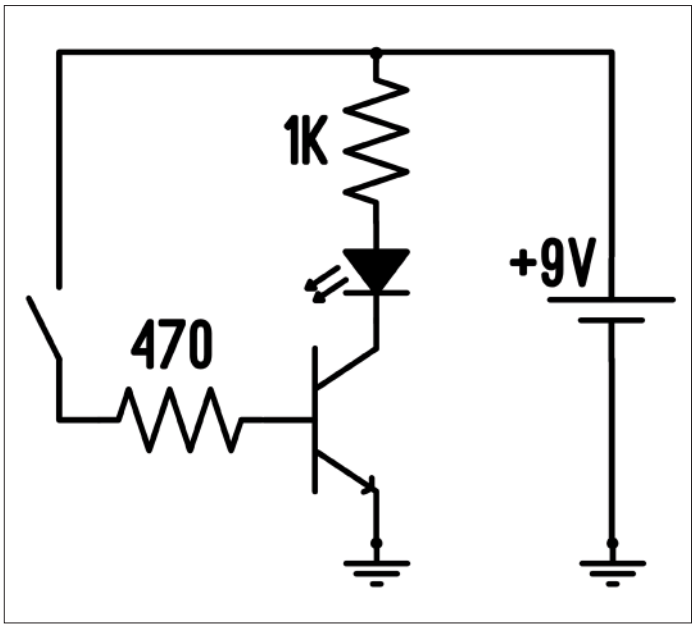


Figura 5.8 – Esquema eléctrico del circuito Hola Transistor.

Necesitamos:

- un pulsador abierto (por ejemplo, el modelo OMROM B3F de 12 mm);
- un led;
- un resistor de 470 Ω;
- un resistor de 1 kΩ;
- un transistor 2N2222;
- una placa de pruebas;
- pila de 9 voltios con clip;
- *jumpers* o cables para las conexiones.

La construcción de este circuito es un poco más compleja, pero basta con estar atentos a las conexiones e intentar ser ordenados, utilizando para ello cables no más largos de lo necesario:

1. Empezamos colocando el transistor en la placa de pruebas, asegurándonos de situarlo en una fila central y no en un borde.
2. El transistor 2N2222 debería tener los pines dispuestos en el orden emisor-base-colector (EBC) si mantenemos el lado plano hacia nosotros (comprobamos siempre la hoja de especificaciones).
3. A continuación, conectamos el emisor al raíl de alimentación negativa.
4. Añadimos la resistencia de 470 Ω y el led y los conectamos entre el colector y la tensión de alimentación positiva.
5. Añadimos el pulsador y la resistencia de 1 kΩ.
6. Conectamos el pulsador a la base del transistor.

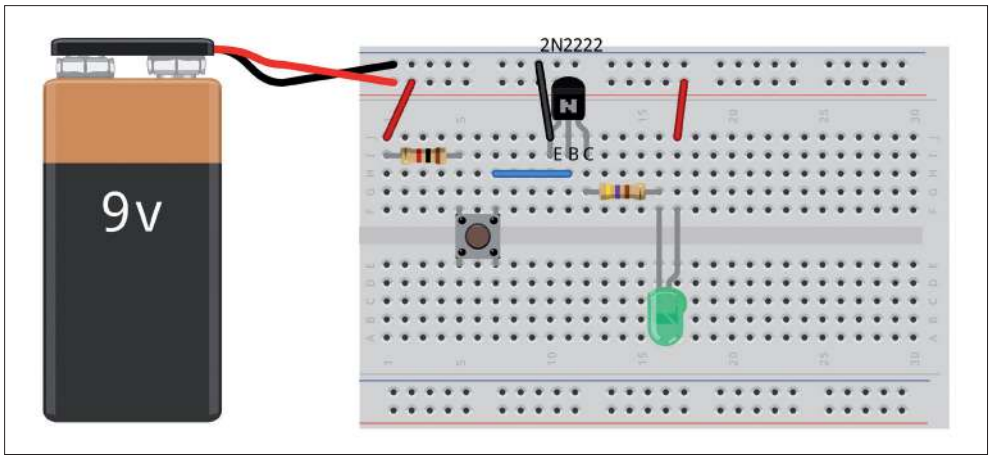


Figura 5.9 – El circuito Hola Transistor montado sobre una placa de pruebas.

Si observamos el esquema eléctrico, podemos ver que, cuando el botón no se encuentra pulsado, no llega corriente alguna a la base del transistor y, por lo tanto, no circula corriente entre emisor y colector. Si pulsamos el botón, haremos llegar la corriente a través de la resistencia de 1 kΩ. Para calcular la corriente, sumamos las tensiones del anillo:

$$9 - iR - 0{,}5 = 0$$

Tenemos la tensión de la batería a la cual sustraemos la caída de tensión de la resistencia y 0,5 V, que son la tensión que debemos tener entre base y emisor del transistor para que se encienda. Así, la corriente que llega a la base será:

$$i = \frac{(9 - 0{,}5)\ V}{470\ \Omega} = 0{,}018\ A = 18\ mA$$

Para controlar el transistor se necesitan unos mA de corriente o menos. Con 18 mA el transistor está completamiento abierto, es decir, en saturación, y el led se encenderá. Cuando el transistor está en saturación, la corriente que circula entre emisor y colector depende solo de lo que le conectamos, en este caso del led y de la resistencia en serie. Debemos tener en cuenta también la tensión que existe entre emisor y colector, que con el transistor en saturación vale unos 0,2 V. Para calcular la corriente del colector, sumamos las tensiones a la salida del transistor:

$$9 - iR - 2 - 0{,}2 = 0$$

Tenemos los 9 voltios proporcionados por la batería de los cuales extraemos 2 voltios para el led y 0,2 V, que son la V_{CE} del transistor. En este punto, la corriente vale:

$$i = \frac{(9 - 2 - 0{,}2)\ V}{470\ \Omega} = 0{,}014\ A = 14\ mA$$

Comprobamos con el tester los valores de la corriente de base y de colector. Para efectuar las mediciones, debemos modificar el circuito, abriendo las conexiones e insertando en ellas las sondas para medir la corriente. Comprobamos también las tensiones. ¿Cuánto vale V_{CE}? ¿Cuánto vale la tensión V_{BE} entre la base y el emisor del transistor?

Transistor con relé

Para encender un led, normalmente no se necesita un transistor. El circuito que acabamos de construir nos ha servido para comprender el funcionamiento del BJT. Los transistores pueden controlar corrientes importantes, como las que se necesitan para controlar relés, motores o altavoces. Vamos a intentar modificar el esquema para controlar un relé de 9 voltios.

El circuito que se muestra en la figura siguiente es un poco distinto al de la figura 5.8; led y resistor han sido sustituidos por el relé. En paralelo al relé, tenemos un diodo para proteger el transistor en el momento en que el relé despega. Cuando el relé es alimentado, su bobina almacena energía que soltará cuando cortemos la corriente. La corriente que libera la bobina va en sentido opuesto con respecto a la que proporciona y podría dañar el transistor. El diodo evita que esta corriente indeseada llegue al transistor.

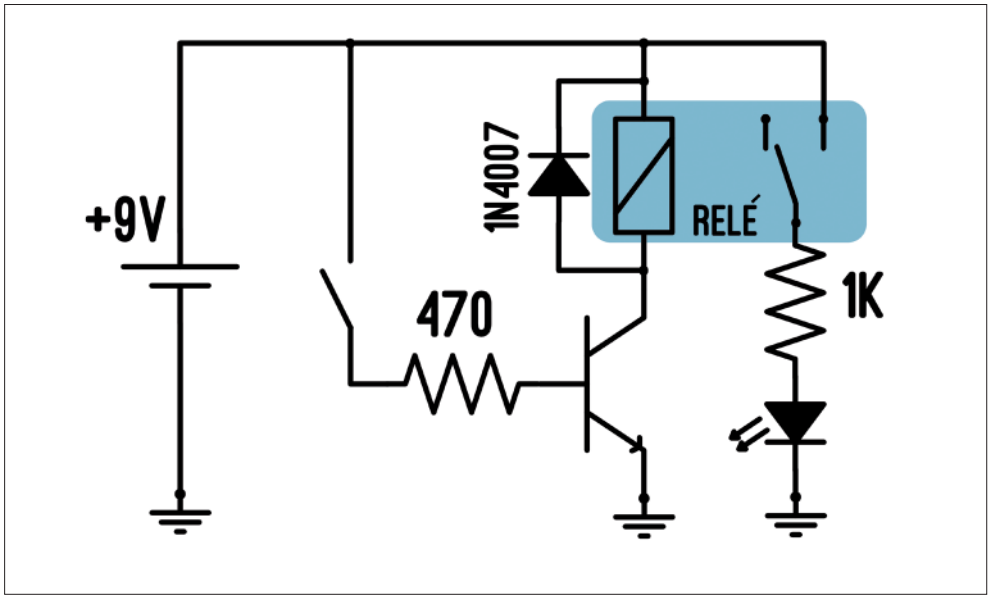


Figura 5.10 – Esquema eléctrico del circuito con transistor y relé.

Esta es la lista del material necesario:

- un pulsador normalmente abierto (por ejemplo, el modelo OMROM B3F de 12 mm);
- un led;
- un resistor de 470 Ω;
- un resistor de 1 kΩ;
- un transistor 2N2222;
- un diodo 1N4007;
- un relé de 9 V de cualquier tipo;
- una placa de pruebas;
- pila de 9 voltios con clip;
- *jumper*s o cables para las conexiones.

Cuando el relé despega produce un clic fácilmente reconocible. Para evidenciar este despegue, utilizamos el relé como si fuera un interruptor para un segundo circuito formado por un led y una resistencia. En este ejemplo, por sencillez, tenemos una única fuente de alimentación, pero los relés se utilizan para controlar circuitos independientes que pueden ser alimentados por separado. En mi caravana fabriqué un control remoto para una bomba de 12 voltios utilizando un relé controlado por una pequeña batería de 9 voltios.

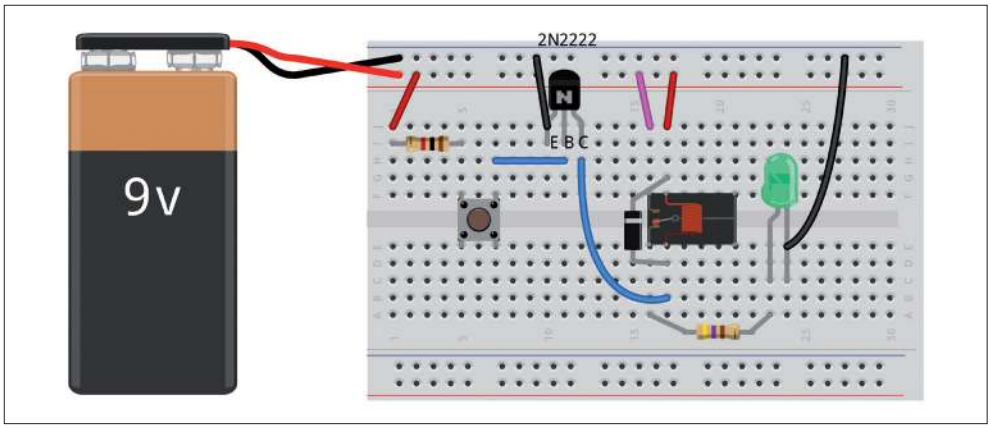


Figura 5.11 – El circuito con relé y transistor sobre la placa de pruebas.

Los microcontroladores y los circuitos lógicos trabajan normalmente a 5 voltios. Podría ocurrir que tuviéramos que accionar un relé de 12 voltios con una salida que puede proporcionar solo 5. Podemos utilizar un transistor como se indica en el esquema siguiente, o bien recurrir a un MOSFET de tipo Logic Level.

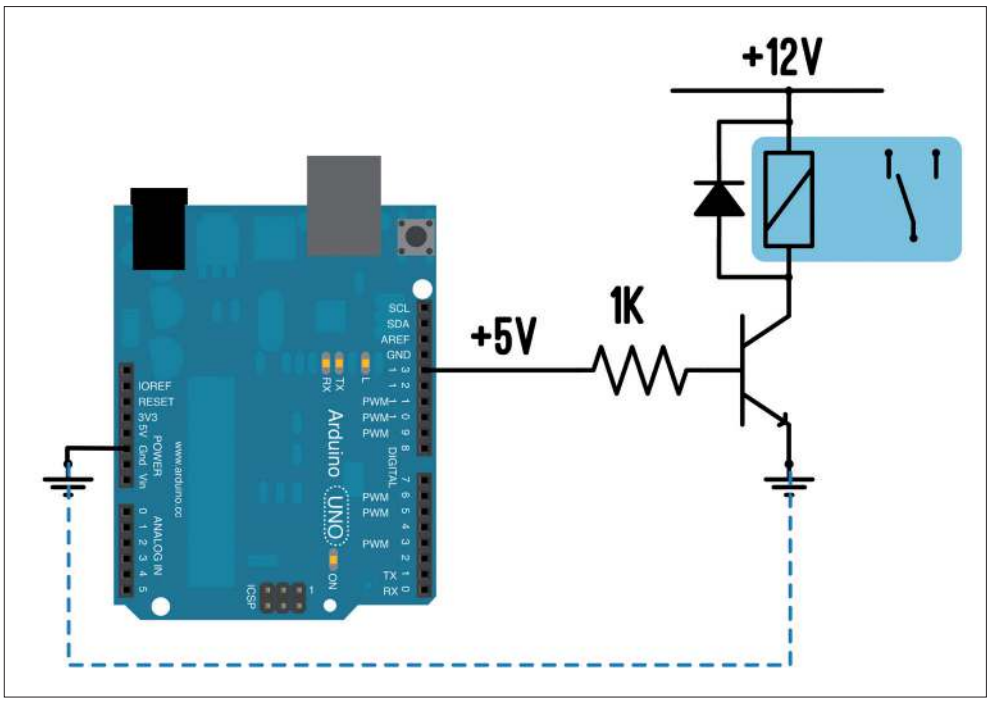


Figura 5.12 – Esquema eléctrico para controlar un relé de 12 V con una señal de 5 V.

Led fotosensible

Como último ejemplo, veamos cómo realizar un circuito para encender un led solo cuando está oscuro. Necesitaremos un sensor para detectar la intensidad luminosa del ambiente. Podríamos utilizar una fotorresistencia, un fotodiodo o un fototransistor. En este caso, utilizaremos un fototransistor, es decir, un tipo particular de transistor dotado solo de dos patillas: emisor y colector. La luz que llega al componente modifica el flujo de la corriente que circula entre emisor y colector.

Estos son los componentes necesarios:

- un fototransistor LTR4206E;
- un led blanco de alta intensidad;
- un resistor de 390 Ω;
- dos resistores de 10 kΩ;
- un transistor NPN modelo 2N2222;
- una placa de pruebas;
- tres pilas de 1,5 V con portapilas;
- *jumper*s o cables para las conexiones.

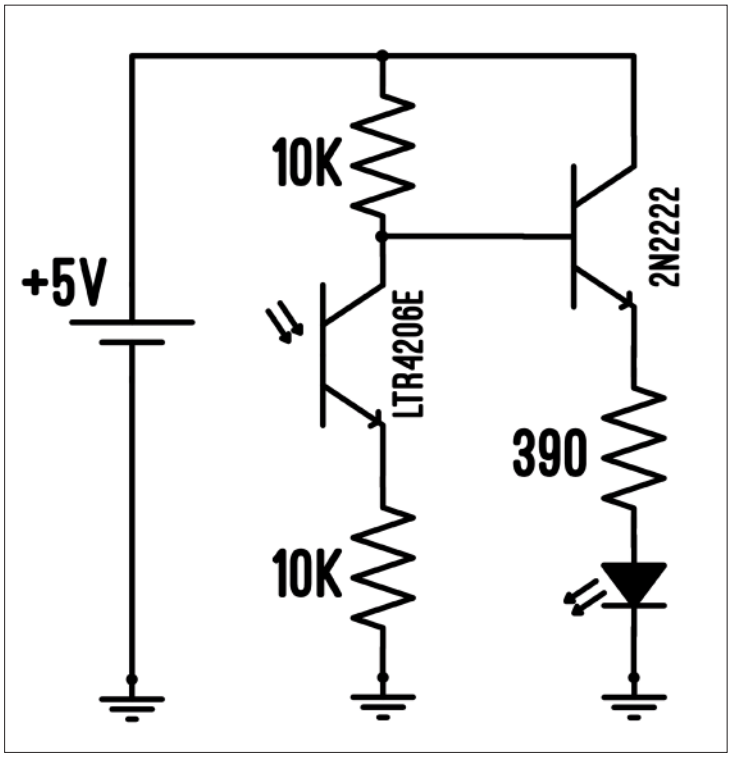


Figura 5.13 – Esquema eléctrico del led fotosensible.

En la oscuridad, el fototransistor se comporta como un transistor con corriente de base igual a cero; no puede circular corriente entre colector y emisor. La luz que llega al dispositivo se transforma en una corriente similar a la corriente de base de un transistor común y hace aumentar la corriente de colector. El fototransistor LTE4206E es sensible a la luz que producen las lámparas alógenas, fluorescentes o incandescentes. ¡No funciona con las lámparas de led! El transistor NPN que controla el led amplifica la corriente que circula en el fototransistor. La luz del led cambiará proporcionalmente a las condiciones de iluminación de la habitación.

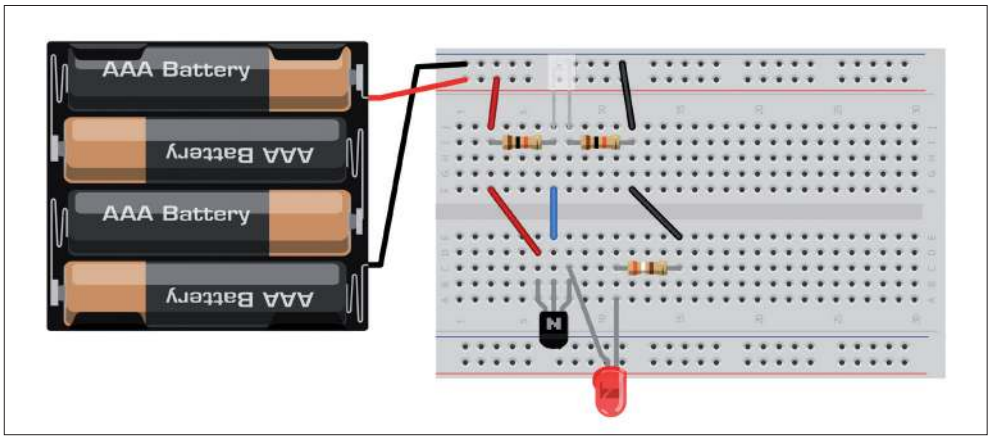


Figura 5.14 – El led fotosensible sobre una placa de pruebas.

En Internet existen proyectos similares que utilizan una pila de botón de 3 V. Con esta alimentación es preciso modificar los valores de algunos resistores.
Es posible modificar el circuito de manera que el led se apague suavemente; basta con añadir un condensador. Unos diseñadores crearon una maravillosa mesa de madera, que deja hipnóticas estelas de luz al pasar la mano por encima (http://www.projectione.com/plylight/).

6

Señales y medidas

La electrónica es el arte de controlar señales. Las señales están por todos sitios. En este capítulo, hablaremos de las señales eléctricas y de cómo podemos modificarlas o generarlas mediante circuitos electrónicos.

Cada tarde saco a pasear a mi perrita Zoe, una *maremmana* sin preocupaciones. A menudo nos encontramos con otros perros y cada vez se repite un ritual de olfateos bajo la cola y giros que parecen bailes. Los perros intercambian mensajes y estas ceremonias forman parte de su modo de comunicarse. Otras veces también nos encontramos con gatos, pero con ellos, por desgracia, las cosas no acaban siempre de la mejor forma y optamos por cambiar de aires. Desafortunadamente, entre perros y gatos no ha existido nunca un acuerdo sobre la comunicación y parece que no se acaban de entender. Cuando Zoe ve un gato, le gustaría jugar con él y se muestra feliz. Para el desafortunado gato, sin embargo, mover la cola significa malestar y conflicto. Si quisiéramos llegar hasta el gato, Zoe querría olisquear debajo de su cola y, una vez más, meteríamos la pata: ¡para el gato sería un gesto muy ofensivo!

Una señal es un medio para transportar e intercambiar informaciones. Para que el intercambio funcione, es preciso establecer una convención, es decir, un acuerdo entre quien transmite y quien recibe para definir las reglas, los tiempos y el contenido del mensaje. ¿Nos escribimos por Skype o por correo electrónico? Podríamos utilizar hojas de papel y escribir en ellas palabras, banderas de colores como hacen dos barcos en medio del mar o bien un teclado telegráfico que envía breves im-

pulsos eléctricos. Si decidiéramos utilizar Skype, deberíamos ponernos de acuerdo en el horario de conexión para no hacer esperar inútilmente a nuestro interlocutor. Además, el mensaje estará codificado, que es como decir que, además de hablar la misma lengua, nos ponemos de acuerdo en cómo se escribe. Muchas de estas decisiones están implícitas en las comunicaciones entre las personas y sería una tontería repetirlas a cada momento. Así, tenemos un transmisor, un receptor y un canal de transmisión. El canal puede sufrir molestias, es decir, verse afectado por ruidos; podría ser niebla, las charlas de los invitados a una fiesta, el sol en los ojos o las descargas eléctricas. El mensaje que llega hasta el destinatario deberá ser descifrado y después interpretado para extraer las informaciones en él contenidas. Las corrientes eléctricas son ideales para crear señales que transportan información.

Señales analógicas y digitales

Un micrófono es un transductor, es decir, un dispositivo que transforma la energía de las ondas sonoras de mecánica a eléctrica. En sus extremos hay una señal variable en el tiempo, que sigue más o menos fielmente las vibraciones producidas por las ondas sonoras. Si dibujáramos un gráfico de esta señal, obtendríamos una línea muy animada. Una señal de este tipo se denomina también analógica, porque es una señal que varía de un mínimo a un máximo y que, dentro de este intervalo, puede asumir cualquier valor. Las señales digitales pueden asumir dos estados que equivalen al nivel mínimo o máximo. Estas señales son las que encontramos dentro de un ordenador. Normalmente están también temporizadas de forma precisa para formar una especie de cuadrícula regular. Cada recuadro temporal puede asumir solo un valor y coincide con un bit.

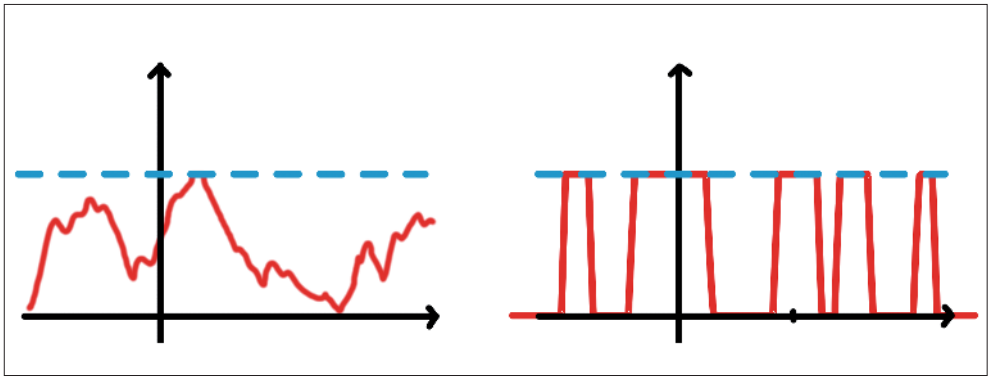


Figura 6.1 – Una señal analógica (a la izquierda) puede asumir cualquier valor dentro de un intervalo, y una señal digital (a la derecha) admite solo dos posibilidades y normalmente está temporizada.

El osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento de medida que no está precisamente al alcance del principiante, pero que es muy útil porque puede mostrar señales eléctricas. Este instrumento está dotado de unas sondas similares a las del tester. Los osciloscopios tienen regulaciones útiles para modificar la escala temporal, para poder mostrar señales lentas o rápidas, y una regulación para la amplitud de las señales, para amplificarlas o atenuarlas de manera que se puedan ver en la pantalla. Más que para medidas precisas, se utilizan para valoraciones cuantitativas, para saber cuál es el comportamiento de una señal eléctrica, y son muy útiles para llevar a cabo reparaciones e identificar funcionamientos defectuosos.

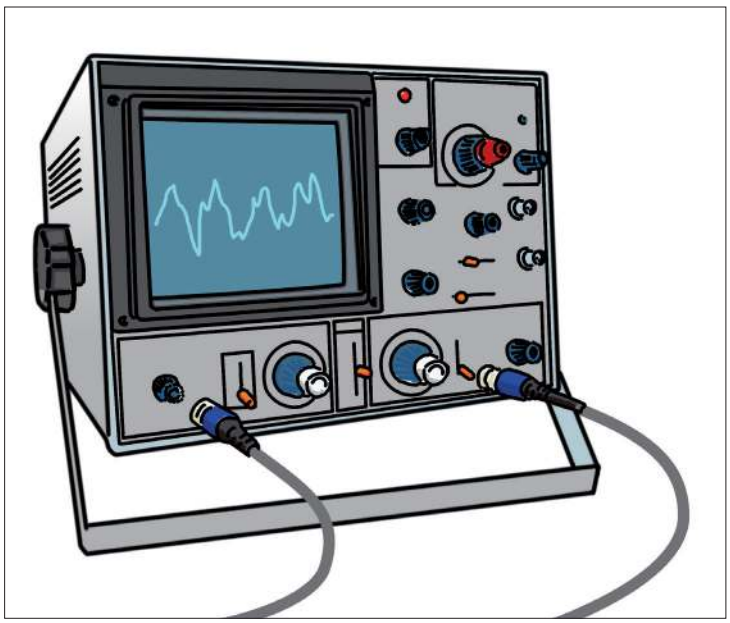


Figura 6.2 – El osciloscopio puede trazar sobre una pantalla señales obtenidas por sus sondas.

Por unos pocos cientos de euros, es posible adquirir un instrumento de segunda mano de tipo analógico, o bien instrumentos de producción asiática cuyas prestaciones son proporcionales al precio. Los instrumentos de hace unos años eran analógicos y, si bien los modernos son digitales, a menudo se prefieren los primeros porque está comprobado que la señal se representa de un modo más puro, sin elaboraciones intermedias. Los instrumentos digitales transforman la señal en una serie de bits para elaborarla y dibujarla sobre una pantalla plana. En los osciloscopios analógicos, la señal amplificada controla directamente una pantalla de rayos catódicos. Todos los osciloscopios

se caracterizan por la banda: 10, 20, 50, 100 MHz, etc. Esta banda indica la máxima frecuencia que puede obtenerse o la velocidad de las señales que pueden visualizarse. En el Apéndice podréis encontrar información y vínculos para construir un sencillo osciloscopio utilizando Arduino.

Trabajar con señales

La electrónica se define como el arte de controlar las corrientes débiles y, por tanto, las señales eléctricas. Mediante el uso de componentes pasivos, transistores y circuitos integrados, podemos generar cualquier tipo de señal y modificarla como nos plazca: amplificando, atenuando, uniendo, separando, limpiando o ensuciando.
Para los apasionados de la alta fidelidad, las señales deben ser puras y reproducidas como si fueran captadas por la fuente. Aunque parezca una idea sencilla, tratar una señal para modificarla lo menos posible es una tarea muy difícil. ¡Por eso vale tanto un amplificador de buena calidad! Los circuitos reales introducen siempre distorsiones sobre las señales que los atraviesan. A veces, en cambio, se desea transformar radicalmente una señal para utilizarla de otra forma, como controlar circuitos distintos, para extraer un significado concreto escondido en sus curvas.
La señal más simple es la onda sinusoidal, que los matemáticos escriben con una fórmula del tipo:

$$\text{onda} = \text{A} \cdot \text{sen}(\text{ángulo})$$

La palabra *sen* indica una función, es decir, una caja negra en la cual podemos insertar un número para obtener un resultado, esto es, un número nuevo. Si insertamos en la caja *sen* un ángulo de 0° a 360°, obtendremos como resultado la amplitud de la onda sinusoidal, un número que pasa ligeramente de uno a menos uno. Si el ángulo de esta onda supera los 360°, se vuelve a empezar desde el principio; 361° produce el mismo resultado que 1°. Al multiplicar la función sen() por un número A, su amplitud oscilará entre +A y -A. En realidad, debemos pasar a la función sen() un ángulo y ella lo convertirá en un número.
Si queremos crear un ángulo que evolucione con el tiempo, podemos escribir:

$$\text{onda} = \text{A} \cdot \text{sen}(\text{k} \cdot \text{t})$$

El tiempo se indica con la letra t, que es una variable a la cual asignamos el número de segundos transcurridos a partir de un tiempo inicial. t puede valer cero segundos, un segundo, dos segundos, etc. La letra k se denomina constante y es un número que no se modifica y que, multiplicado por el tiempo t, produce un ángulo que crece más o menos rápido en el tiempo; depende del valor de k.

En 1822 el físico y matemático Jean Baptiste Joseph Fourier, tras una larga serie de cálculos, llegó a la conclusión de que una señal con una forma cualquiera se puede expresar como una suma, incluso infinita, de sinusoides. Nuestra canción favorita también puede describirse con una fórmula del tipo:

$$\text{canciónfavorita} = A_1 \cdot \text{sen}(k_1 t) + A_2 \cdot \text{sen}(k_2 t) + A_3 \cdot \text{sen}(k_3 t) + \ldots$$

Más allá de las implicaciones de ciencia ficción de este descubrimiento, Fourier intentó dibujar estas ondas en un gráfico especial, con la frecuencia en el eje horizontal y la amplitud en el vertical. Cada sinusoide tiene una frecuencia característica y una amplitud indicada por el coeficiente A, por lo que podemos dibujarla como una línea vertical en el gráfico denominado espectro de frecuencia. Todas las señales eléctricas tienen una naturaleza dual y pueden ser tratadas como un todo equivalente a algo que varía en el tiempo o como un conjunto de frecuencias. El mecanismo matemático para pasar de una descripción de la señal a otra se denomina *Transformada de Fourier*.
La aplicación más inmediata de esta teoría es el vúmetro, que podemos encontrar en los equipos de audio o en las radios. Una secuencia de barras que suben y bajan y nos dicen cuánto bombean los graves.

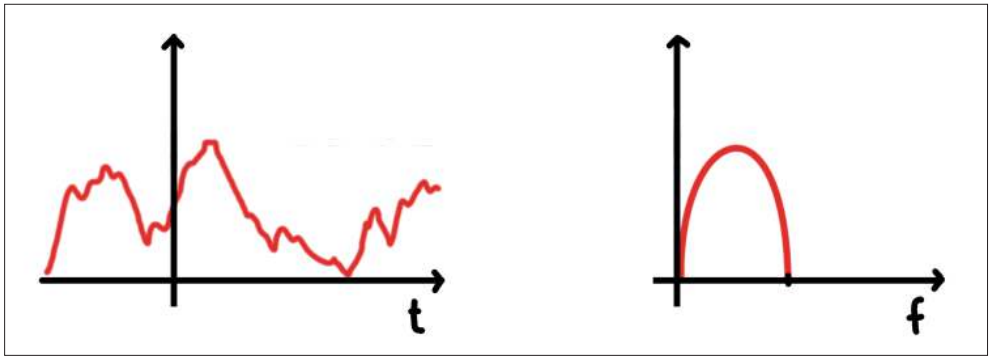


Figura 6.3 – Representación de una señal de tiempo variable (a la izquierda) y su espectro equivalente (a la derecha).

En los párrafos siguientes trataremos de describir algunas de las operaciones más comunes sobre las señales, aportando también, cuando sea posible, circuitos prácticos.

Amplificadores

La operación más extendida en electrónica es la amplificación de señales. Las señales provienen de sensores u otros circuitos y pueden ser muy débiles. Las señales que

viajan por el éter recorren kilómetros antes de llegar a un receptor, donde tienen una intensidad de unos microamperios. A veces percibimos solo ruido, que no es más que una señal eléctrica. La finalidad de un amplificador es aumentar la amplitud de una señal del modo más fiel, sin modificar su forma original. Esta es la principal preocupación de los apasionados de la alta fidelidad.

En el siglo pasado, para amplificar las señales se utilizaban válvulas termoiónicas, una especie de lámparas con una serie de terminales en el fondo. El principio de funcionamiento es siempre aquel según el cual una pequeña corriente consigue modificar una corriente más grande. Actualmente, las válvulas no son fáciles de encontrar, aunque todavía se utilizan en aplicaciones concretas, como en algunos transmisores de radio o en los amplificadores para instrumentos musicales o de alta fidelidad. Son muy apreciadas porque amplifican las señales de un modo muy limpio y fiel. Desafortunadamente, requieren tensiones de funcionamiento de unos cien voltios y se calientan mucho, se desgastan con el tiempo y son muy frágiles porque están hechas de vidrio.

En 1947 aparecieron los transistores, que, aunque no amplifican de un modo tan excelso como las válvulas, son minúsculos y duraderos. Los transistores se pueden combinar de distintas maneras para crear amplificadores de diferentes características. Con la invención de los circuitos integrados, se difundieron también los primeros amplificadores realizados sobre un único chip. Para funcionar, estos componentes requieren solo unos componentes externos de tipo pasivo. Algunos chips modernos proporcionan potencias importantes, incluso de decenas de vatios, y están diseñados para ser tranquilamente conectados a unos altavoces.

El símbolo circuital para un amplificador genérico es un simple triángulo. Los amplificadores se caracterizan por una ganancia, es decir, por el número de veces que se multiplicará la señal de entrada.

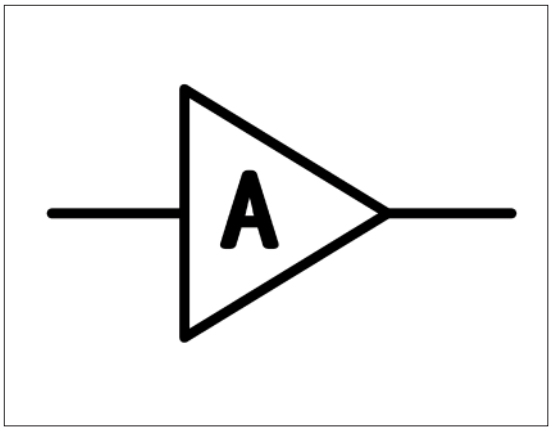


Figura 6.4 – El símbolo de un amplificador genérico es un simple triángulo.

Resulta difícil construir un circuito amplificador que responda bien a cualquier tipo de señal. Por eso existen circuitos especializados para todo tipo de uso; tenemos amplificadores para señales de audio, amplificadores para radiofrecuencias, amplificadores para señales muy débiles, amplificadores de potencia para controlar grandes altavoces e amplificadores intermedios y de ganancia unitaria, utilizados para aislar distintas secciones de un circuito.

El ruido

El ruido lo genera el movimiento aleatorio de los electrones, además de infinitas causas que producen variaciones eléctricas interceptadas por cables y circuitos. Las señales siempre van acompañadas de ruido. Es inevitable. Por ese motivo, a menudo se indica no tanto la cantidad total de ruido, sino la relación entre señal y ruido (indicado con las letras SNR, que significan *Signal Noise Ratio*). Cuanto más alto es el número, más se separa la señal del ruido y, por tanto, se distingue mejor. Un buen amplificador debería amplificar la señal y limitar el ruido, además de evitar que no entre más.
Tanto la ganancia como la relación señal-ruido se expresan normalmente en decibelios, porque indican un enfrentamiento entre tensiones, corrientes o potencias.

Decibelios

Los decibelios se utilizan para indicar de forma sencilla la relación entre dos medidas que pueden ser muy distintas. Según el tipo de medida que se está comparando, las fórmulas que se utilizan son distintas. Existe una para comparar medidas como simples tensiones y otra para comparar potencias. Para ejecutar el cálculo es preciso utilizar un logaritmo de base diez. No es preciso que profundicéis más en ello, puesto que podéis encontrar la función en una calculadora científica o en una hoja de cálculo. El logaritmo es un operador que aplana los números y ayuda en las comparaciones cuando estamos comparando medidas enormes con otras muy pequeñas.
La fórmula para comparar dos tensiones V_1 y V_2 es:

$$dB = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

La fórmula para las potencias es:

$$dB = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

El logaritmo tiene un comportamiento particular. Si la relación entre las tensiones es mayor que uno, los decibelios tienen un signo más, mientras que, si la relación es igual a uno, tendremos cero decibelios. Para relaciones menores que uno, los decibelios son negativos. A veces la ganancia de un amplificador se expresa en decibelios.
Si la señal de salida es igual a veinte veces la señal de entrada, la ganancia es de 20, lo que en decibelios sería:

$$20 \cdot \log_{10}(20) = 26{,}02 \text{ dB}$$

Si la señal de entrada es igual a la de salida, tendremos una ganancia igual a uno o cero decibelios:

$$20 \cdot \log_{10}(1) = 0 \text{ dB}$$

Una ganancia igual a cien es igual a cuarenta decibelios:

$$20 \cdot \log_{10}(100) = 40 \text{ dB}$$

Si la ganancia llega a mil, tenemos sesenta decibelios:

$$20 \cdot \log_{10}(1000) = 60 \text{ dB}$$

Impedancia

Un parámetro a tener en cuenta cuando se utiliza o se diseña un amplificador es su impedancia de entrada. La impedancia es la resistencia que verá la fuente de la señal a la entrada del amplificador. Cuando la impedancia es alta, el amplificador absorberá poca corriente del circuito, que conectaremos a su entrada. Si tenemos una señal muy débil, procedente de un micrófono o una antena, es importante que la entrada sea de alta impedancia, para que no se absorba nada de corriente y no decaiga la señal. La impedancia tiene una definición muy complicada, que requiere el uso de números concretos, denominados imaginarios. En términos muy sencillos, se podría decir que es la resistencia que se opone a una señal variable se mide en ohmios, se indica con la letra Z y depende de la frecuencia de las señales. Además de los resistores, también los condensadores y los inductores pueden generar impedancias que se oponen al paso de la corriente variable que oscila con cierta frecuencia.

Amplificadores operacionales (op-amp)

Para aquellos que están empezando, es bastante complicado construir un amplificador que funcione y con buenas prestaciones utilizando solo componentes discretos. El mayor problema, según mi experiencia, ha sido siempre la falta de recursos para comprobar el funcionamiento de los circuitos. Sin embargo, con un osciloscopio y un generador de señales nada nos puede parar. Por desgracia, estos instrumentos son caros y no todos se los pueden permitir. Una solución simple y potente es la que ofrecen los amplificadores operacionales, unos pequeños chips que contienen un amplificador con dos entradas distintas. Una de las dos entradas permite pasar la señal inalterada, mientras que la otra la invierte (le cambia el signo). Este tipo de amplificador se denomina diferencial y es un dispositivo muy flexible, que si se le añaden unos pocos componentes puede transformarse en un amplificador o en un circuito para la elaboración de señales. Este tipo de amplificadores fueron creados para generar ordenadores analógicos. Estamos hablando de la prehistoria de los ordenadores, cuando, en oposición a los digitales, algunas compañías empezaron a fabricar y vender ordenadores para realizar complejos cálculos científicos basados no en bits, sino en medidas analógicas. No tuvieron gran éxito, tan poco que actualmente solo algunos apasionados conocen su existencia. Estos ordenadores necesitaban pequeñas unidades de cálculo analógico para amplificar señales, sumarlas o realizar otras interesantes operaciones.

El símbolo de un amplificador operacional es un simple triángulo con una salida y dos entradas que se distinguen por un signo más y un signo menos. En realidad, este componente es muy complejo porque está formado por decenas de transistores diminutos situados en el mismo chip de silicio.

El amplificador operacional más conocido es el modelo μA741, vendido con un paquete DIL (*dual in line*) de ocho pines. Las patillas número 1 y 5 del μA741 sirven para regular el *offset* o desplazamiento, es decir, para hacer que la salida del amplificador esté a cero cuando sus dos entradas son exactamente iguales. Podría ocurrir que a la salida del amplificador operacional se presente una tensión no deseada. Para anularla, se puede conectar un trimmer entre los dos pines, con el central conectado a la tensión de alimentación negativa. Para borrar el *offset* se necesita un multímetro con una sonda conectada a tierra y la otra, al pin número seis (la salida del op-amp). El offset debe impedirse cuando se trabaja con tensiones absolutas, pero si el amplificador se utiliza como tal no tiene ningún efecto.

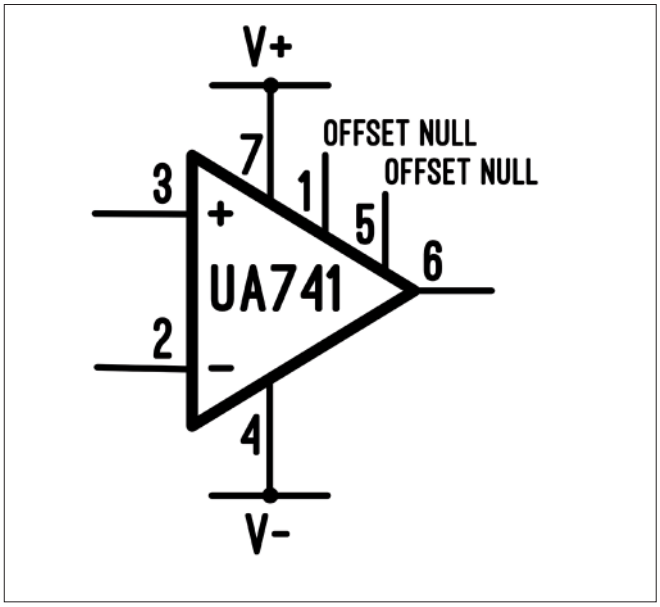


Figura 6.5 – Símbolo del amplificador operacional uA741.

Todas las casas fabricantes ofrecen amplificadores operacionales con distintas características y formatos. Algunas de las siglas más conocidas son TL081, LF231, TL082, que contiene dos op-amp, TL084, con cuatro op-amp. Un amplificador operacional es un amplificador diferencial con una elevada ganancia, es decir, un circuito capaz de distinguir las señales en sus entradas, las cuales se denominan *inversoras* y *no inversoras*. Si se aplican 5 voltios en la entrada no inversora y 3 en la entrada inversora, deberíamos obtener 2 voltios. En algún momento, algún ingeniero se ha dado cuenta de que aportando a la entrada la señal de salida o una parte de ella se podrían observar cosas interesantes. Esta intuición se encuentra en la base de la teoría del control y de la automatización, donde se proporciona una señal, se observa qué efecto produce, se mide el error respecto a la previsión y se utiliza este error medido para corregir la señal que lo ha provocado. Este mecanismo hace que una operación concreta se desarrolle de forma controlada y estable. También lo utilizan los seres humanos. Cuando movemos el brazo para coger un lápiz de la mesa, el cerebro envía señales para activar los músculos y el ojo controla el efecto de estas acciones, comunicando el error al cerebro que procede a compensarlo.

Las entradas de estos amplificadores son de alta impedancia, lo que significa que no absorben corriente de los eventuales sensores que conectemos. A la salida pueden proporcionar una corriente que puede llegar a varias decenas de miliamperios.

El único defecto es que para que funcionen se necesita una alimentación dual formada por una toma de tierra, una tensión positiva y una negativa. Podemos utilizar dos baterías o bien construir un circuito generador de tensión (ver página 185) con otro amplificador operacional.

Amplificador inversor

El amplificador más sencillo que se puede construir con un op-amp es un amplificador inversor, es decir, un amplificador cuya señal en salida se invierte respecto a la señal en entrada. Si en su entrada aplicamos una señal positiva, en salida se dará una señal negativa o viceversa. Para construir este tipo de circuito, basta con dos resistencias que sirven para definir la ganancia, es decir, cuántas veces se amplificará la señal en entrada.

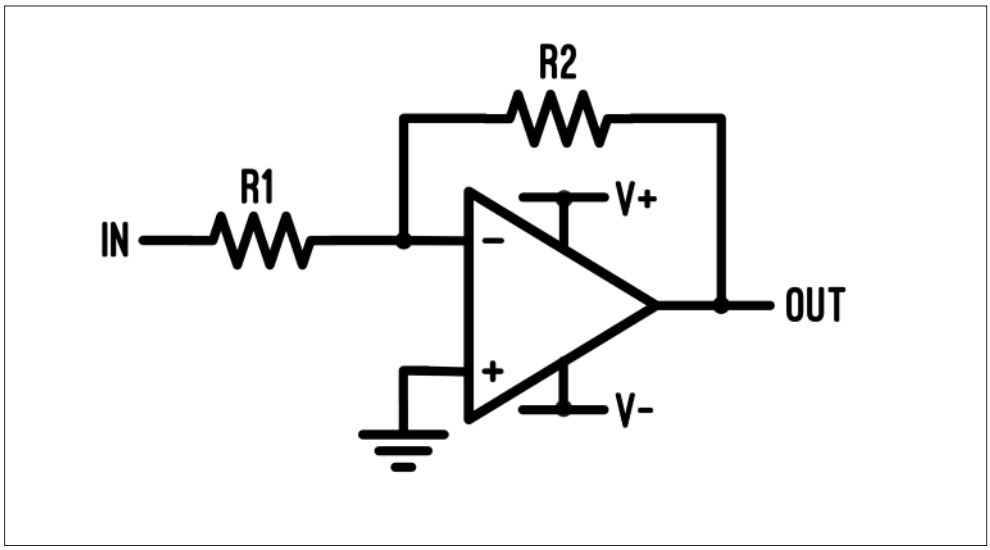


Figura 6.6 – Esquema eléctrico de un amplificador inversor fabricado con un amplificador operacional.

La resistencia R_2 está conectada entre la salida del circuito y su entrada para poder llevar parte de la señal a la entrada y limitar la ganancia. La entrada no inversora está conectada directamente a la toma de tierra y el circuito se alimenta con una alimentación dual, es decir, con una tensión negativa y una positiva y una toma común. Un error común es el de conectar la masa a la alimentación negativa.
La señal de salida se calcula con la fórmula siguiente, donde observamos que la ganancia del amplificador es igual a la relación entre ambas resistencias:

$$V_{out} = -V_{in} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

Si R_1 vale 1 kΩ y R_2 vale 10 kΩ, la ganancia será igual a -10; ¡muy sencillo!
Si queremos utilizar este amplificador para amplificar señales variables, como la señal de audio que procede de un micrófono, debemos aislarlo conectando un condensador electrolítico de 10 o 50 µF a su entrada y otro a su salida. Los condensadores bloquean las corrientes continuas y dejan pasar solo las señales variables, aislando el amplificador.
Una solución para evitar inestabilidades en el comportamiento es conectar un condensador de un centenar de nanofaradios entre los pines de alimentación y la masa. El condensador debe estar lo más cerca posible de los pines.

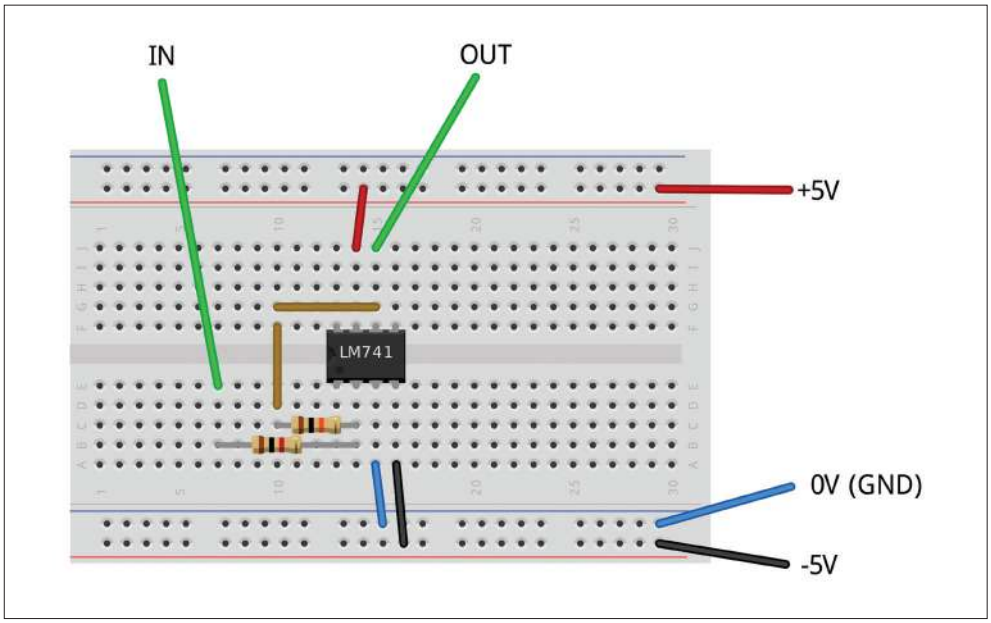


Figura 6.7 – El amplificador inversor de la figura 6.6 creado sobre una placa de pruebas.

Amplificador no inversor

Con una pequeña modificación sobre el circuito anterior podemos realizar un amplificador no inversor, donde la señal en salida tiene el mismo signo que la señal en entrada. Conectaremos R_1 entre la masa y la entrada inversora y aplicaremos la señal de entrada directamente a los pines no inversores del amplificador operacional.

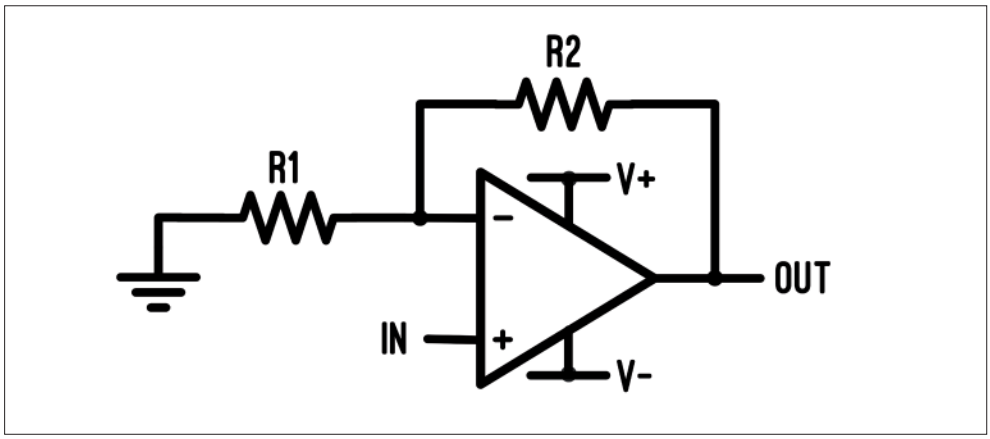


Figura 6.8 – Esquema eléctrico de un amplificador no inversor.

Para esta configuración, la ganancia es igual a la relación entre ambas resistencias más uno. La tensión de salida se calcula mediante:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Usando una resistencia de 1 kΩ para R_1 y una de 10 kΩ para R_2, obtendremos una ganancia de 11.

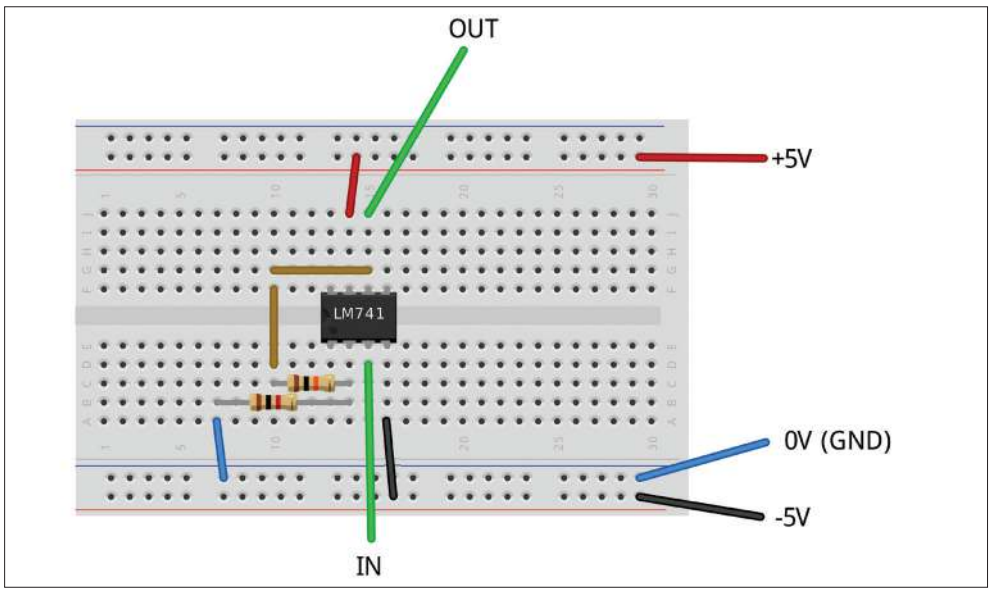


Figura 6.9 – El amplificador no inversor de la figura 6.8 creado sobre una placa de pruebas.

Búfer

¿Qué ocurre si conectamos directamente la salida con la entrada inversora? Que tenemos un amplificador con una ganancia de 1. ¿Y para qué sirve un amplificador que no amplifica? Este tipo de amplificador se conoce también como búfer y es muy útil porque sirve de aislante; utiliza la alta impedancia de entrada del op-amp para evitar que las señales muy débiles se disipen o se absorban y las lleva hasta la salida, que puede proporcionar también corrientes más consistentes.

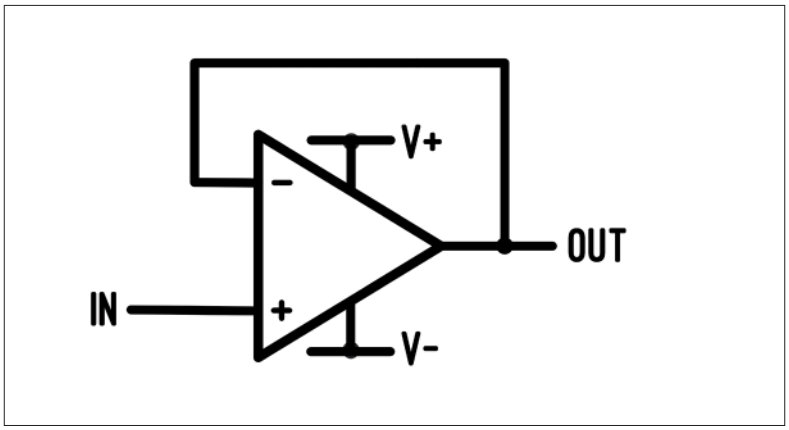


Figura 6.10 – Esquema eléctrico de un amplificador búfer con ganancia unitaria.

Para entender este funcionamiento, debemos considerar el error a la entrada, es decir, la diferencia entre la señal aplicada a la entrada no inversora (V+) y la señal en la entrada inversora (V-). La señal a la salida se lleva hasta la entrada y, si ambas señales deben ser iguales, la diferencia entre V+ y V- debe ser igual a cero.

$$V_+ - V_- = 0$$

Si observamos el esquema del circuito podemos ver que V+ es igual a la señal de entrada V_{in} y que V- es igual a la señal de salida V_{out}. De este modo, podemos escribir la fórmula como sigue:

$$V_{in} - V_{out} = 0$$

y comprobar que la señal de entrada y la de salida son idénticas:

$$V_{out} = V_{in}$$

Generador de tensión

Los amplificadores operacionales requieren una alimentación dual. Podemos utilizar dos baterías conectadas en serie, obteniendo 0 voltios en el punto donde las conectamos juntas. Si disponemos de un alimentador individual, podemos utilizar un divisor de tensión con dos resistores con un valor de unas decenas de kiloohmios. Sin embargo, los divisores no garantizan una tensión estable y esta podría variar al conectar otros componentes.
Con un amplificador operacional configurado como búfer, podemos proteger el divisor y duplicar la tensión de 0 voltios que tenemos en la entrada. El amplificador operacional no absorbe corriente del divisor, preservando la caída de tensión que encontramos en las resistencias.

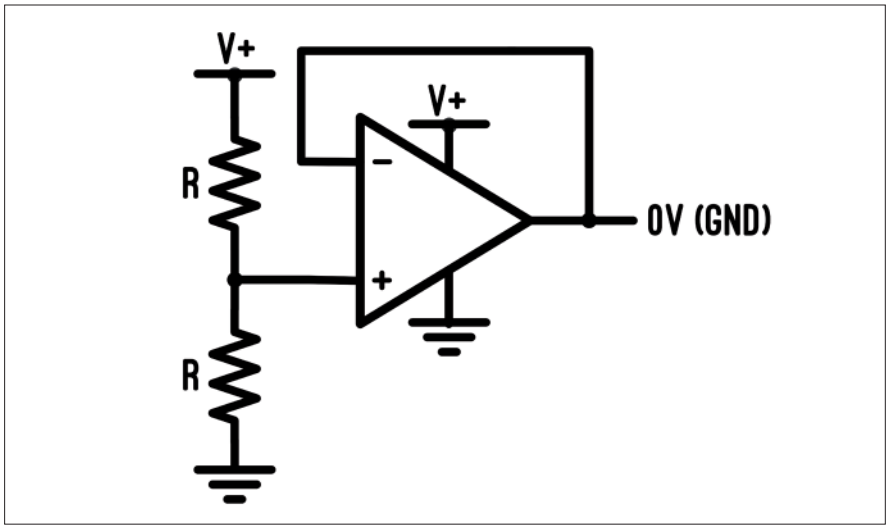


Figura 6.11 – Esquema eléctrico para un circuito generador de tensión formado por un divisor y un búfer.

Mezclador

Un mezclador es un sumador de señales. Podemos fabricarlo con un amplificador operacional de configuración inversora añadiendo tantas resistencias de entrada como señales queremos sumar. Los resistores de entrada también pueden ser de tipo variable (un trimmer o un potenciómetro) para poder modificar la ganancia de cada línea. Cada línea tiene su ganancia independiente y la señal de salida se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$V_{out} = -V_1 \cdot \left(\frac{R_4}{R_1}\right) - V_2 \cdot \left(\frac{R_4}{R_2}\right) - V_3 \cdot \left(\frac{R_4}{R_3}\right)$$

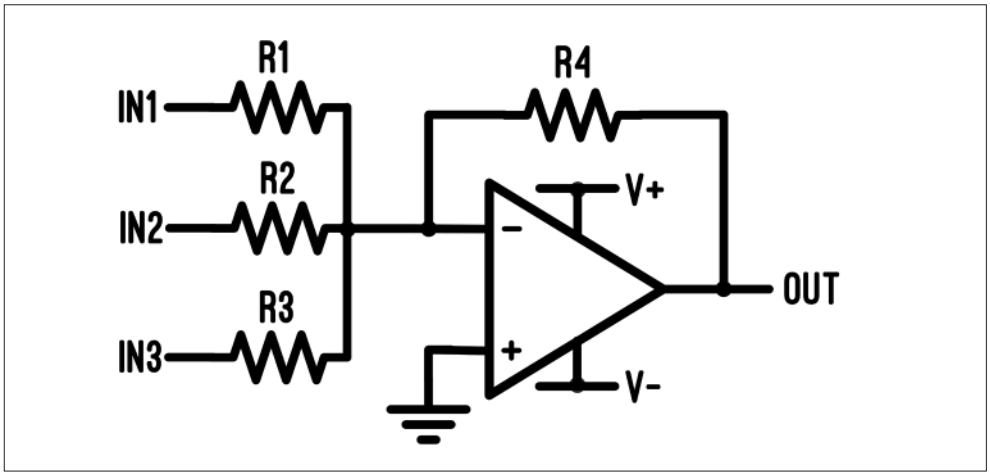


Figura 6.12 – Esquema eléctrico de un mezclador para señales creado con un amplificador operacional.

Integrador

¿Qué ocurre si en un amplificador inversor sustituimos la resistencia entre entrada y salida con un condensador? Que habremos fabricado un circuito especial denominado integrador, que se puede utilizar para calcular el área de una señal. La aplicación más práctica e inmediata es la de utilizarlo para transformar una onda de cuadrada a triangular. En paralelo al condensador, debemos añadir una resistencia de algún MΩ, porque si no la señal de salida tiende a alejarse progresivamente del nivel a 0 voltios. Se acostumbra a añadir una resistencia entre la entrada no inversora y la masa para mejorar la estabilidad del integrador. La resistencia debe tener un valor igual al paralelo entre la resistencia R y la que está en paralelo al condensador.

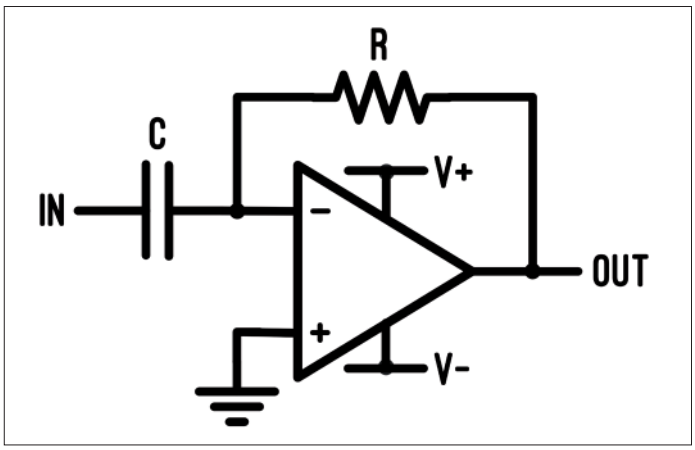


Figura 6.13 – Esquema eléctrico de un integrador. Si a su entrada llega una onda cuadrada, a la salida tendremos una onda triangular.

Diferenciador

Si invertimos en un integrador la resistencia con el condensador, obtenemos un circuito diferenciador (o derivador), es decir, un circuito que produce una señal igual a la pendiente de la señal a la entrada. El diferenciador actúa al contrario que el integrador y, si recibe una señal de onda triangular, produce otra de onda cuadrada.

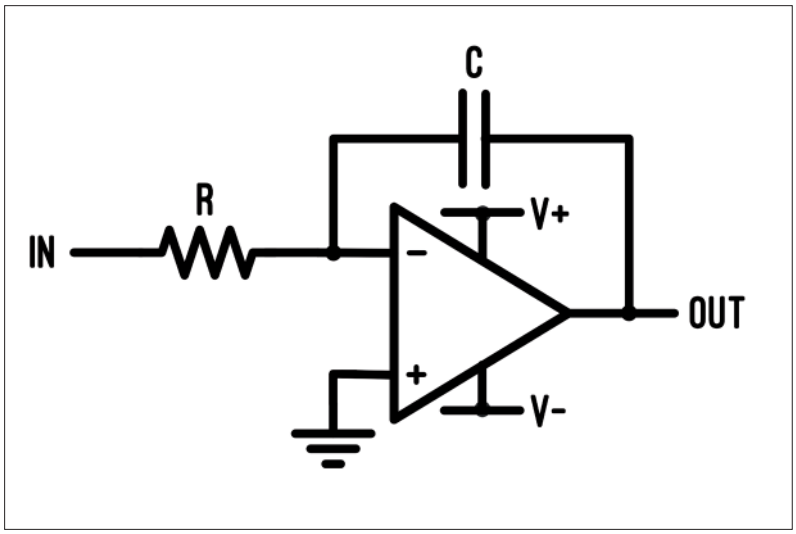


Figura 6.14 – Esquema eléctrico de un diferenciador. Si a su entrada llega una onda triangular, a la salida obtenemos una onda cuadrada.

Para mantener el circuito estable se deben añadir un pequeño condensador con un valor de unas decenas de picofaradios entre la entrada y la salida y una resistencia en la entrada.

Amplificador audio integrado con LM386

Los amplificadores operacionales no son adecuados para controlar un pequeño altavoz. Para ello, es preferible utilizar un circuito integrado diseñado como amplificador de audio. Un chip pequeño, práctico y económico es el LM386, que nació para ser alimentado a pilas y proporcionar hasta un vatio de potencia.

El chip forma parte de un paquete DIL de ocho patillas y no necesita alimentación dual. Por eso, es muy querido por los *makers*-guitarristas, que lo utilizan para construirse pequeños amplificadores portátiles. El más famoso es el Smokey Amp de Bruce Zinky; un pequeño amplificador que cabe por completo en un paquete de cigarrillos.

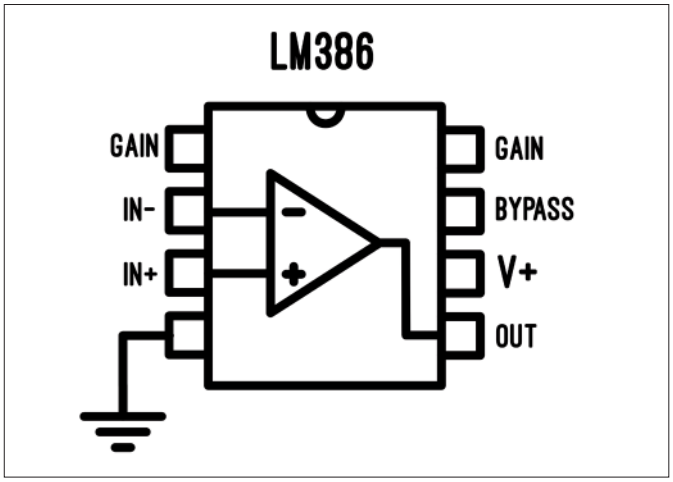


Figura 6.15 – *Pinout* del amplificador de audio integrado LM386.

El LM386 es una especie de amplificador operacional de potencia. De hecho, tiene dos entradas: una inversora y otra no inversora. La ganancia puede ser de 20 o 200 y se puede modificar añadiendo un condensador de 10 µF. En el pin de entrada (el número 3) conectamos un potenciómetro o un trimmer de 10 kΩ para regular el volumen. El altavoz debe tener una impedancia de ocho ohmios.

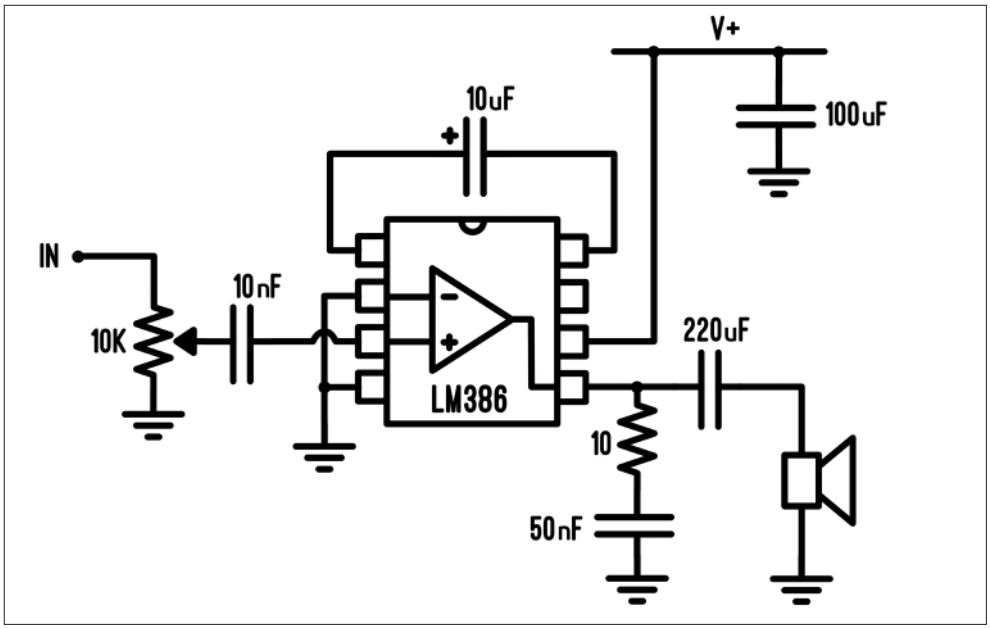


Figura 6.16 – Esquema eléctrico de un sencillo amplificador de audio con el chip LM386.

Si queréis podéis realizar el circuito sobre una placa perforada e introducirlo en un pequeño contenedor. Siempre resulta cómodo tener un pequeño amplificador de audio en el laboratorio.

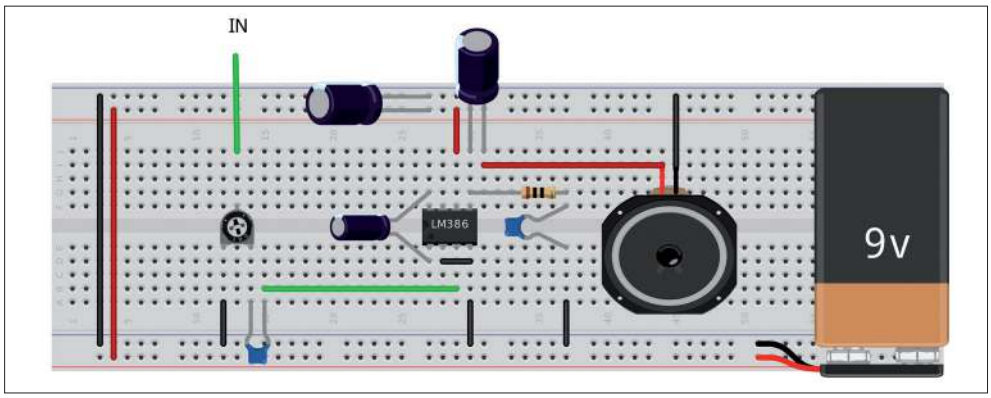


Figura 6.17 – El amplificador de audio con el LM386 creado sobre una placa de pruebas.

Filtros

Un filtro es un dispositivo que limita o selecciona una señal. El filtro para el ADSL sirve para separar la señal telefónica, que está compuesta por frecuencias que llegan hasta unos 4 kHz, de la señal para navegar por Internet, que se transporta por la misma línea de teléfono y que tiene frecuencias mayores a 4 kHz. Sin este filtro oiríamos la combinación de las dos señales, cosa que no gustaría ni a nosotros ni al módem. En el mundo electrónico, los filtros están por todos sitios y, a menudo, son incluso no deseados porque los materiales que utilizan o algunas configuraciones de componentes limitan las frecuencias que un circuito puede tratar. Existen dos grandes familias de filtros: los pasivos y los activos. Los filtros pasivos están creados con simples componentes como resistores, condensadores y bobinas. En general, atenúan las señales, por lo que no son recomendables para trabajar con señales débiles. Además, no son muy precisos y el efecto que presenta es generalmente bastante suave. Los filtros activos incorporan un amplificador y algunos componentes pasivos. Pueden trabajar con pequeñas señales, son mucho más precisos y claros, pero requieren circuitos más complejos.

Existen filtros analógicos y digitales. Los filtros digitales requieren que la señal se transforme en una secuencia de bits para poder ser tratados por circuitos de procesamiento especiales denominados DSP (*Digital Signal Processor*). Los DSP son pequeños procesadores especializados que pueden ejecutar a gran velocidad cálculos matemáticos sobre las muestras de una señal. Por tanto, el filtro es realizado por un *software*; no es nada sencillo, pero es muy potente. Se pueden crear objetos para filtrar las

frecuencias de un modo preciso y claro y para hacer cosas superbrillantes, como los filtros predictivos, que intentan adivinar cuál será la próxima muestra de señal.
En las estaciones de metro de una gran ciudad se han instalado sistemas experimentales que escuchan llegar el tren y, gracias a los filtros predictivos, generan una señal difusa a través de los altavoces, que anula el ruido del tren que está llegando. Utilizando al menos tres de estos filtros digitales colocados en el entorno, es posible localizar y aislar una fuente de sonido eliminando todo el resto. Este tipo de aparatos han sido utilizados en sofisticadas salas de grabación donde es posible registrar por separado los sonidos individuales de una orquesta completa. Obviamente en este capítulo nos limitaremos a los filtros analógicos sencillos creados para modificar señales que varían en el tiempo.
Los filtros se clasifican según su comportamiento ante una señal. Existen filtros:

- paso bajo, que dejan pasar las frecuencias por debajo de un valor concreto o frecuencia de corte;
- paso alto, que dejan pasar las frecuencias por encima de la frecuencia de corte;
- paso banda, que dejan pasar las frecuencias sobre una frecuencia central;
- notch, que atenúan una frecuencia determinada.

Filtro paso bajo

La forma más sencilla de fabricar un filtro es conectando un condensador y una resistencia, de manera que el condensador esté conectado entre la resistencia y la masa. En el capítulo dedicado a los componentes ya vimos que los condensadores, en condiciones de corriente estable, se comportan como circuitos abiertos, mientras que, al aumentar la frecuencia, presentan una resistencia (la reactancia) que disminuye poco a poco hasta llegar a cero o a valores muy bajos. Si a la entrada del filtro que se muestra en el esquema de la figura siguiente aplicamos una señal constante, no veremos nada de particular. La señal se dará en la resistencia y el condensador no tendrá ningún efecto. En cambio, si la frecuencia de la señal fuera muy elevada, el condensador se comportaría como una resistencia o, incluso, como un cortocircuito, anulando completamente la señal aplicada.

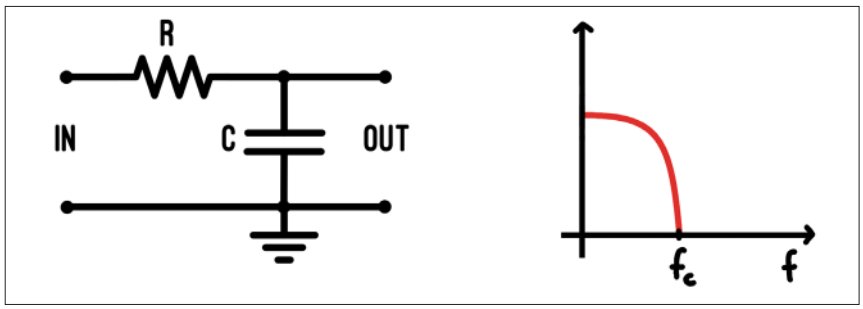


Figura 6.18 – Esquema eléctrico de un simple filtro paso bajo. Solo las frecuencias menores que la frecuencia de corte pueden atravesarlo sin ser atenuadas.

El efecto del filtro se puede representar sobre un gráfico que muestra la atenuación que se dará para todas las frecuencias posibles. La curva parte de 0 Hz y después baja rápidamente. Si no es a un determinado valor de frecuencia, ninguna señal conseguirá pasar. La combinación de R y C determina cuál será la frecuencia de corte del filtro. La frecuencia de corte no es clara y, por tanto, es difícil indicar un valor concreto. Por ese motivo, se suele indicar la frecuencia a 3 dB, es decir, la frecuencia por la cual la potencia de salida es la mitad de la de entrada. No es complicado calcular la frecuencia de corte para un circuito simple como un filtro, pero a nosotros nos bastará conocer la fórmula. Los más curiosos pueden ampliar esta información con los libros recomendados en la bibliografía.
La frecuencia de corte se calcula con esta fórmula:

$$f_{cut} = \frac{1}{2\Pi \cdot R \cdot C}$$

R es el valor de la resistencia en ohmios, C es el valor del condensador en faradios y 2π vale unos 6.28. Con una resistencia de 1 kΩ y un condensador de 100 nF, la frecuencia será de unos 1,5 kHz:

$$f_{cut} = \frac{1}{6{,}28 \cdot (1000) \cdot (100 \cdot 10^{-9})} = \frac{1}{6{,}28 \cdot (10^{3}) \cdot (10^{2} \cdot 10^{-9})} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^{3+2-9}} =$$

$$= \frac{10^{4}}{6{,}28} = \frac{10000}{6{,}28} = 1{,}592 \text{ Hz}$$

Si disminuimos la resistencia a 100 Ω obtendremos una frecuencia de corte de 16 kHz. Con una resistencia de 10 kΩ la frecuencia de corte bajará hasta 160 Hz.
Podemos probar el funcionamiento del filtro con un sencillo experimento. Necesitamos:

- un condensador de 100 nF;
- resistencias de 100 Ω, 1 kΩ y 10 kΩ;
- un generador de señales;
- un osciloscopio o un Arduino configurado para que funcione como un osciloscopio (ver Apéndice B).

Como generador de señales también podemos utilizar un Arduino programado para generar una onda cuadrada de frecuencia variable. Al final de este capítulo veremos cómo crear un simple generador de señales.

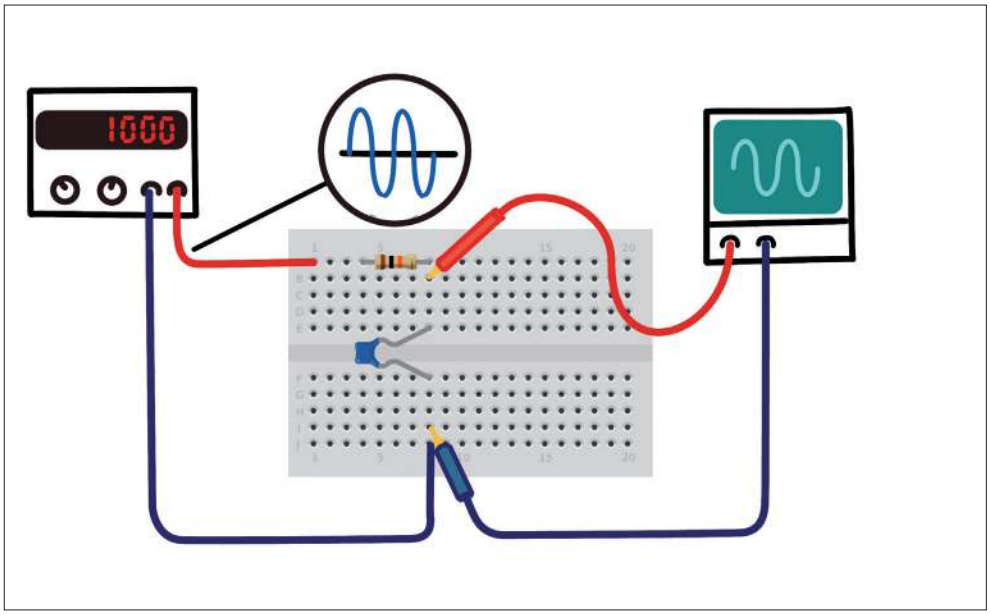


Figura 6.19 – El filtro paso bajo en una placa de pruebas con un oscilador conectado a su entrada y un osciloscopio para detectar la señal de salida.

Encendemos el generador de señales y hacemos aumentar la frecuencia. Si lo hemos conectado todo correctamente, con el arduinoscopio deberíamos notar que la amplitud de la señal medida disminuye al aumentar la frecuencia. Sustituimos las resistencias y comprobamos si la frecuencia de corte del filtro se modifica según lo previsto.

También podemos construir un filtro paso bajo utilizando una resistencia y un inductor, pero esta vez la señal a la entrada recorrerá primero el inductor y después encontrará la resistencia, conectada entre la salida y la masa. Como ya hemos visto, una bobina se comporta al revés que un condensador; cuando hacemos llegar a la entrada del filtro una señal que no varía, la bobina es comparable a un cortocircuito, mientras que al aumentar la frecuencia presentará una resistencia (reactancia) cada vez mayor, hasta que la señal encuentre un circuito abierto y no pueda llegar a la salida.

La frecuencia de corte, en este caso, vale:

$$f_C = \frac{R}{2\Pi \cdot L}$$

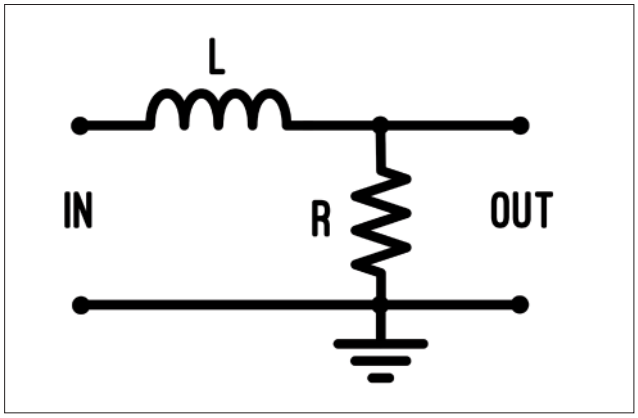


Figura 6.20 – Esquema de un filtro paso bajo de tipo RL, formado por un resistor y un inductor.

Los filtros paso bajo son útiles para eliminar interferencias de alta frecuencia que podrían llegar a nuestros circuitos. Si, por ejemplo, tenemos un circuito con una sección que trabaja con señales de audio y una sección digital muy ruidosa, podríamos limitar las interferencias añadiendo filtros paso bajo, porque normalmente las interferencias digitales tienen frecuencias muy altas.

Filtro paso alto

¿Qué ocurre si cambiamos de sitio la resistencia y el condensador? Que la señal que entra en el filtro se encuentra en primer lugar con el condensador. Si la señal es constante, el condensador se le mostrará como un circuito abierto y, por tanto, a la salida no ocurrirá nada. Al aumentar la frecuencia de la señal, el condensador disminuirá su reactancia hasta que aparezca como un cortocircuito.

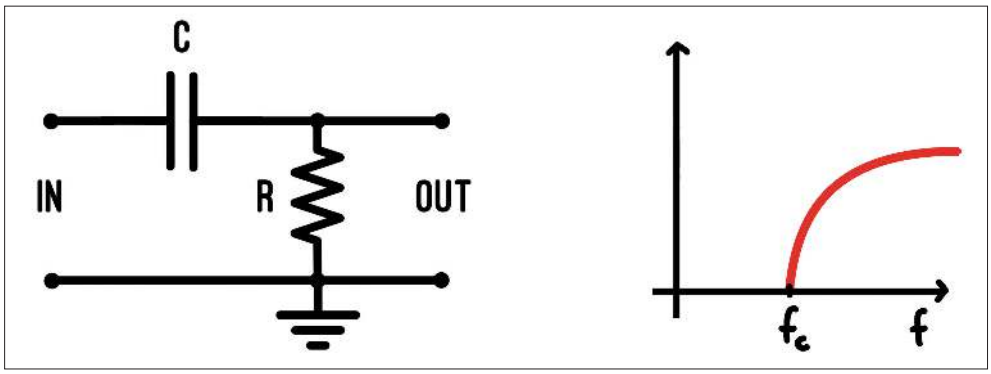


Figura 6.21 – Esquema eléctrico de un filtro paso alto sencillo. Solo las frecuencias mayores que la frecuencia de corte pueden atravesarlo sin ser atenuadas.

El espectro del filtro paso alto es similar al diagrama dibujado para el paso bajo. El dispositivo bloqueará todas las frecuencias inferiores a la frecuencia de corte, dejando pasar solo las superiores. La frecuencia de corte se calcula con la misma fórmula utilizada para el filtro paso bajo:

$$f_C = \frac{1}{2\Pi \cdot R \cdot C}$$

También en este caso es posible comprobar el funcionamiento del filtro con un generador de señales y el arduinoscopio.

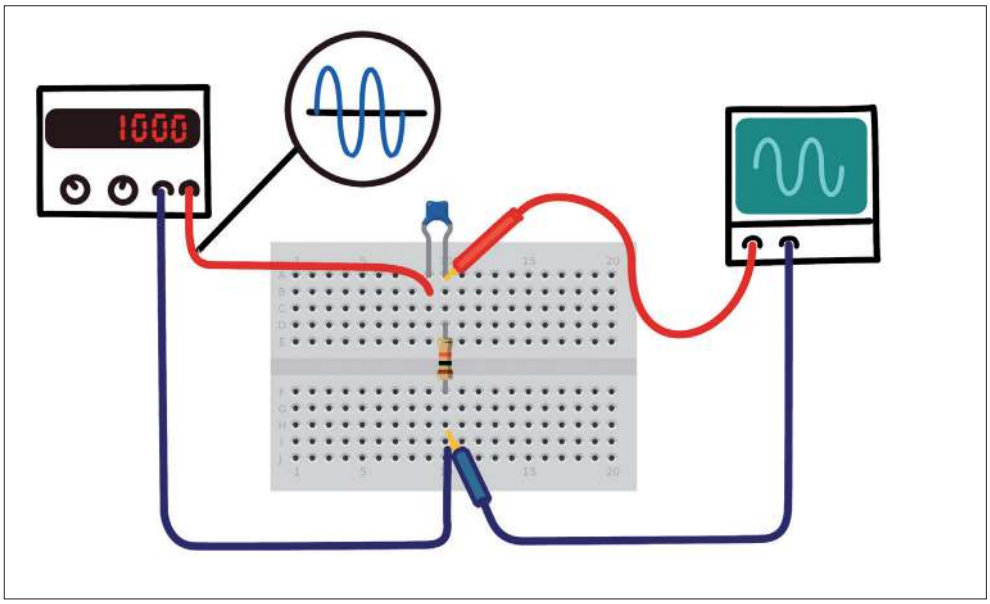


Figura 6.22 – El filtro paso alto en una placa de pruebas con un oscilador conectado a su entrada y un osciloscopio para detectar la señal en salida.

La amplitud de la señal visualizada debería ser inicialmente nula o muy baja para, posteriormente, aumentar con bastante rapidez mientras se acerca a la frecuencia de corte calculada.
El filtro paso alto con inductor y resistencia se realiza colocando el inductor en el lugar de la resistencia y una resistencia en el lugar del condensador. Cuando la señal aplicada tiene una frecuencia igual a cero, la bobina es un cortocircuito y la señal termina en tierra a través de la resistencia R. Cuando la frecuencia aumenta, la in-

ductancia presenta una resistencia cada vez más alta y deja pasar así la señal sin problemas.

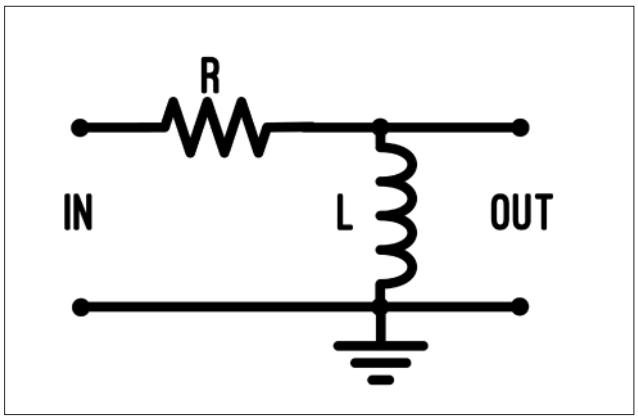


Figura 6.23 – Esquema de un filtro paso alto de tipo RL formado por un resistor y un inductor.

Un filtro paso alto se puede utilizar para bloquear tensiones continuas e indeseadas presentes en una señal. Estas tensiones sucias podrían influir en el comportamiento del circuito modificando las polarizaciones.

Filtro paso banda

Por banda se entiende un intervalo de frecuencias. Un filtro paso banda es un circuito electrónico que deja pasar solo un intervalo de frecuencias, suprimiendo el resto. En las transmisiones de radio, un filtro de este tipo, denominado filtro con sistema de sintonía, aísla el canal que deseamos escuchar. En una radio, el filtro de sintonía es el primer componente y más importante que encuentran las señales que proceden de la antena. Está formado por una bobina y un condensador. Las características del condensador y, sobre todo, de la bobina determinan la calidad de la señal que se permite entrar en los circuitos de la radio para ser amplificado y detectado.

Un filtro paso banda está formado por tres componentes: una resistencia, un condensador y una bobina. En este caso, no hablamos de frecuencia de corte, sino de la frecuencia central del filtro. A menudo, cuando se habla de este tipo de filtros, también encontramos un parámetro denominado Q, o factor de calidad, que indica la compresión del filtro; cuanto mayor es el valor de Q más estrecho es el filtro.

$$f = \frac{1}{2\Pi\sqrt{LC}}$$

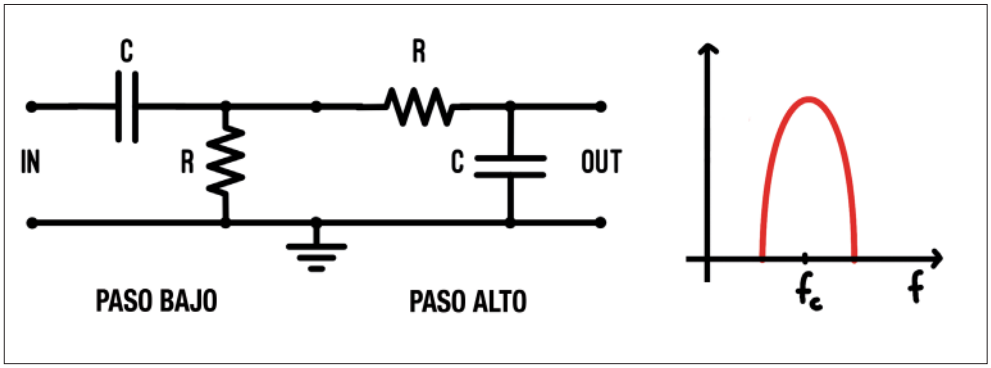


Figura 6.24 – Esquema de un filtro paso banda.

Este tipo de filtro se puede realizar también combinando en serie un filtro paso bajo y un filtro paso alto. Con dos filtros de tipo pasivo, la intensidad de la señal será especialmente atenuada.

Filtro notch

El filtro notch, al contrario que el filtro paso banda, anula una frecuencia determinada y deja pasar todas las otras. Se puede construir con una resistencia y con una bobina en serie con un condensador. Para calcular la frecuencia se utiliza la siguiente fórmula:

$$f = \frac{1}{2\Pi\sqrt{LC}}$$

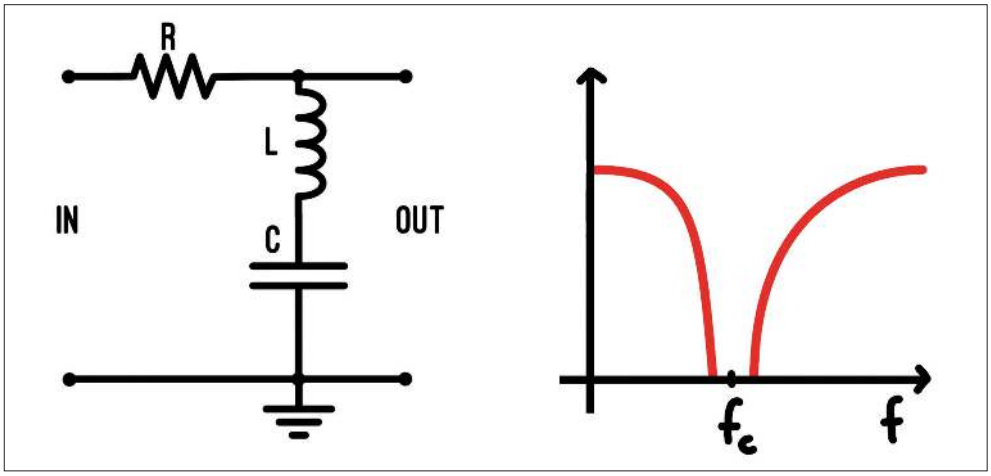


Figura 6.25 – Esquema de un filtro notch.

Moduladores y demoduladores

Una simple señal como la que podemos detectar a la salida de un micrófono ocupa un intervalo de frecuencias determinado, es decir, un ancho de banda. Las frecuencias de los sonidos que emite la voz humana van de 0 hercios hasta casi cuatro kilohercios; la banda de esta señal es, por lo tanto, de unos 4 kHz. Si conectamos al micrófono un cable, la señal podrá pasar y llegar a un transmisor o cualquier otro circuito. Si quisiéramos añadir un segundo micrófono, probablemente lo más sencillo sería añadir un segundo cable. Si no fuera posible agregar otros cables, deberíamos inventarnos algo más ingenioso. Dado que la señal ocupa solo una banda de 4 kHz, podríamos intentar situar una segunda señal justo por encima de la primera, de manera que ocupe el intervalo de frecuencia de 4 a 8 kHz.

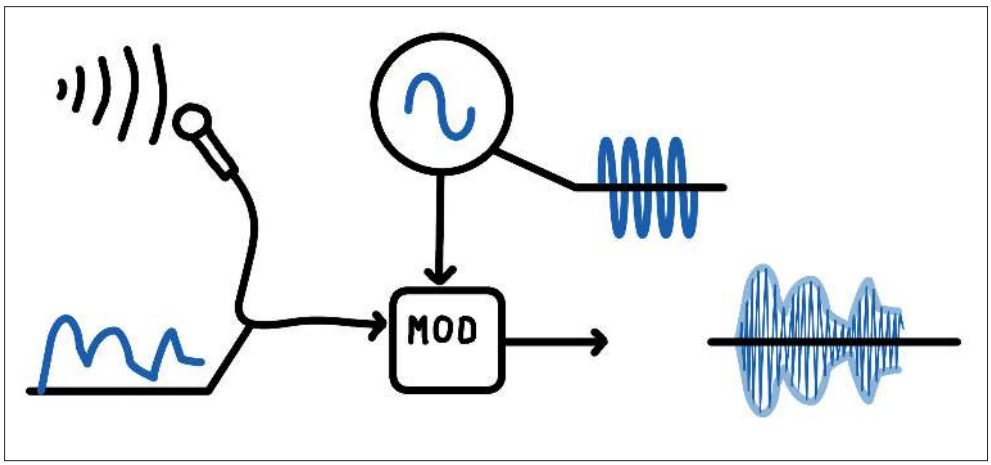


Figura 6.26 – Un modulador combina una señal de audio con la portadora, es decir, una onda de alta frecuencia.

La primera señal se dice que es de banda base porque sus frecuencias parten de cero. La segunda señal se denomina señal modulada. ¿Cómo se puede desplazar una señal desde la banda base hasta una frecuencia superior? Con un modulador, un circuito que combina la señal del micrófono con una segunda señal, normalmente una sinusoide de frecuencia elevada, denominada portadora. Se trata de que la señal de baja frecuencia modifique la amplitud de la portadora. Esta modulación se denomina modulación de amplitud (AM). Existen otros tipos de modulaciones, la más conocida de las cuales es la de frecuencia (FM), donde la señal en banda base modifica la frecuencia de la portadora (y no la amplitud).

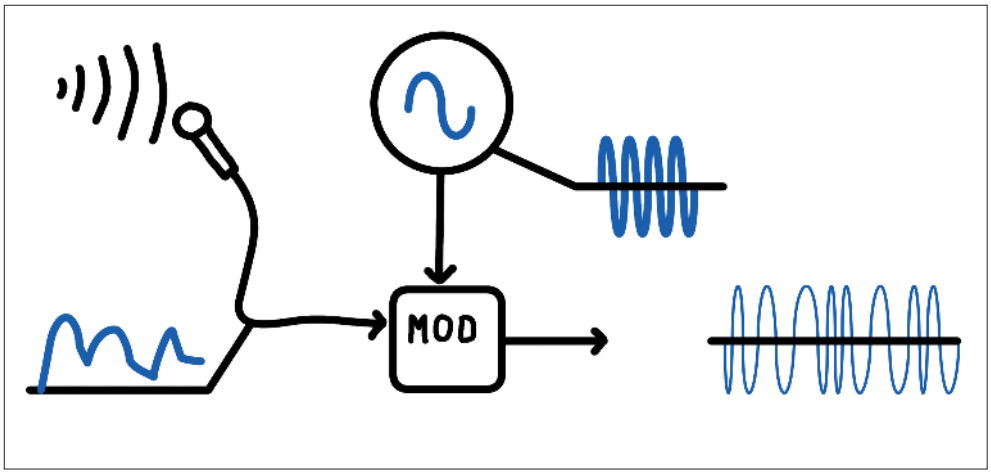


Figura 6.27 – Un modulador de FM produce una señal con amplitud constante, pero frecuencia variable.

Para recuperar la señal original, debemos utilizar un demodulador, es decir, un circuito que en primer lugar separa con un filtro paso banda la porción de frecuencias que queremos transformar y después elimina la portadora dejando pasar solo la señal en banda base. La radio funciona exactamente así, pero los sistemas para modular y demodular señales se utilizan en muchos otros ámbitos, por ejemplo, con los MODEM en las transmisiones de datos (la palabra MODEM significa MOdulador/DEModulador), así como para aplicaciones de audio y musicales. Los circuitos prácticos para realizar modulaciones y demodulaciones son demasiado complejos para ser presentados en pocas líneas, por lo que dejaremos este tema para más adelante.

Osciladores

El principio de funcionamiento de un generador de señales es simple; se necesita un amplificador y un modo de detectar la señal generada y llevarlo a su entrada. Es como lo que ocurre cuando un presentador tiene en la mano un micrófono y se sitúa delante de una caja, en unos instantes se produce un molesto pitido. Se puede utilizar como amplificador un transistor, un amplificador operacional o también un circuito digital. El modo en que la señal se lleva a la entrada del amplificador es importante, de hecho, la señal debe conseguir que el amplificador oscile, por lo que es importante que se presente a la entrada para estimular posteriormente al amplificador. La frecuencia de oscilación se controla retardando el tiempo necesario para la señal que se devuelve a la entrada. Existen osciladores más o menos complicados y, obviamente es posible utilizar chips diseñados para ser usados como simples generadores que necesitan solo

unos pocos componentes externos para determinar la frecuencia de oscilación. El chip XR2206 es un generador de formas de onda triangulares, sinusoidales y cuadradas.
Un circuito histórico, utilizado para generar señales de onda cuadrada, es el *timer* NE555, en el mercado desde 1971. Se trata de un pequeño circuito integrado con ocho pines que se puede utilizar como temporizador (monoestable) o como generador de señales de onda cuadrada (astable). En la modalidad monoestable, cuando llega una señal en entrada, el chip genera una señal en salida e inicia una temporización bastante precisa. Cuando termina el tiempo configurado, la salida regresa al nivel bajo hasta que no llega una nueva señal. En la modalidad oscilador o astable, el chip genera una forma de onda continua. La temporización se crea con algunas resistencias y un condensador. En el interior del 555 hay un biestable, es decir, una celda de memoria elemental capaz de memorizar un bit y algunos comparadores que sirven para modificar el estado de la celda comparando tensiones preconfiguradas con los tiempos de carga y descarga de un condensador. El circuito para generar una onda cuadrada es:

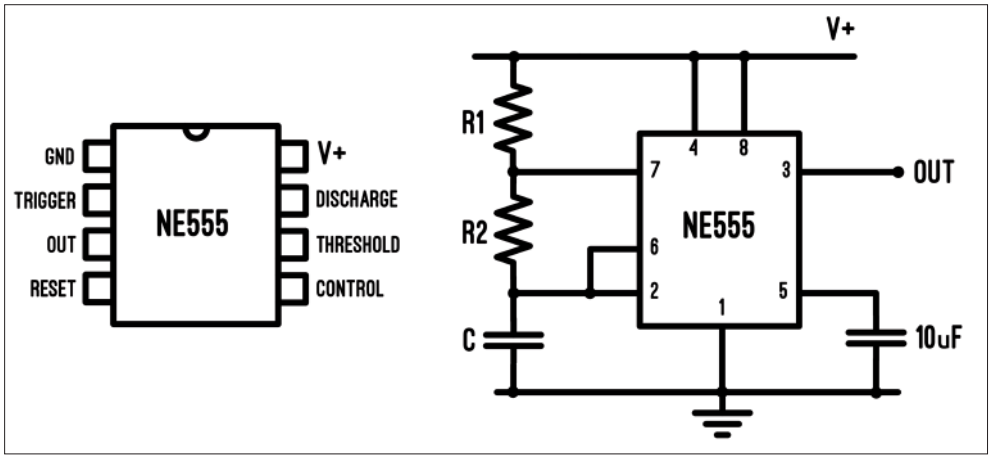


Figura 6.28 – Pinout del circuito integrado NE555 y esquema eléctrico para realizar un simple oscilador de onda cuadrada (astable).

Se necesitan dos resistencias y un condensador con los cuales poder calcular los tiempos de la onda cuadrada:

$$t_1 = 0{,}693 \cdot (R_1 + R_2) C$$

y:

$$t_2 = 0{,}693 \cdot R_2 \cdot C$$

Los tiempos calculados no serán nunca iguales, puesto que la onda cuadrada que produce el 555 tiene un ciclo de trabajo distinto al 50 %. Para tener un ciclo de trabajo que se aproxime al 50 % debemos usar una R_1 mucho más pequeña que R_2. Las dos resistencias no deberían tener un valor menor que 1 kΩ.
En el capítulo sobre la electrónica digital veremos otra forma de construir un oscilador sencillo.

Temporizador

Un temporizador (*timer*, en inglés) es un circuito que, una vez activado, espera un tiempo determinado antes de producir una determinada salida. Fabricar un temporizador con un circuito integrado es muy sencillo. Podemos utilizar el versátil NE555. Con un simple circuito podemos ajustar la duración del temporizador con un resistor y un condensador. La señal de inicio se proporciona en el pin número dos conectándolo a tierra. La salida está en el pin 3 y, una vez haya transcurrido el tiempo prefijado, pasará del estado bajo al alto.

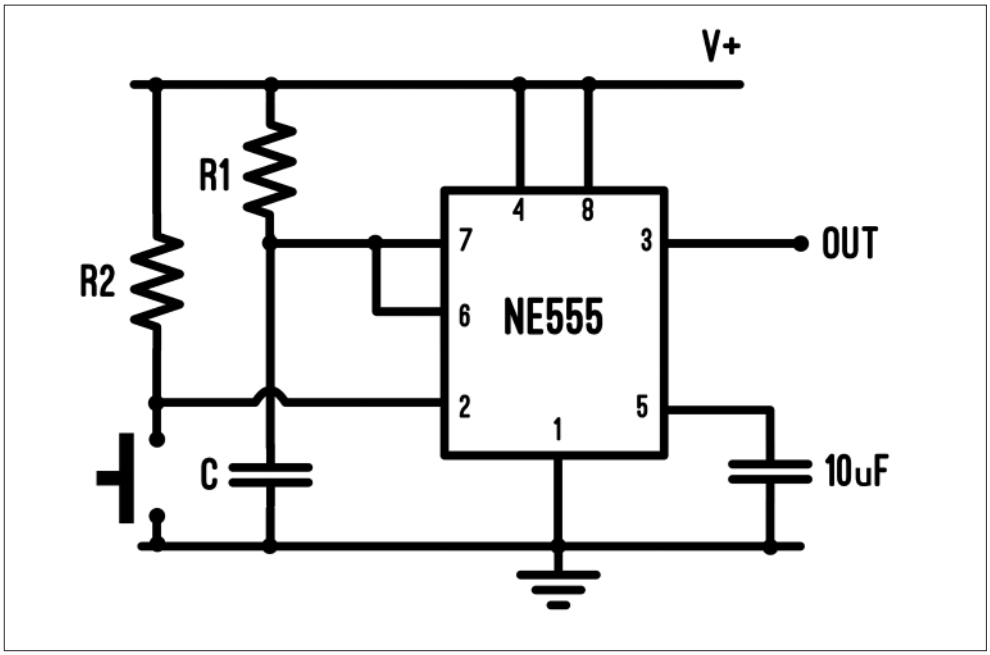


Figura 6.29 – Esquema eléctrico para fabricar un temporizador sencillo con un NE555.

La temporización se calcula con la siguiente fórmula:

$$t = 1{,}1 \cdot R_1 \cdot C_1$$

7

Alimentar los circuitos

Un circuito sin una fuente de energía es un trozo de hierro sin vida. La sección de alimentación de un circuito a menudo se pasa por alto, pero es una parte muy importante. En estas páginas veremos qué tipos de baterías utilizar y cómo construir alimentadores estabilizados para nuestros circuitos.

A diferencia de otras formas de energía, la electricidad puede ser almacenada. El primero que lo descubrió fue Alessandro Volta en el año 1800, quien construía pilas con discos de zinc, cobre y fieltro empapados de agua salada. Para que un circuito funcione, debemos conectarlo a baterías o alimentadores. En las siguientes páginas veremos cómo funcionan las pilas y los alimentadores y cómo construir circuitos para regular tensión y corriente.

Baterías y alimentadores

Una batería es un dispositivo electroquímico que puede proporcionar corriente eléctrica durante un tiempo determinado, es decir, hasta que en su interior se produzca una reacción química concreta. Podemos pensar en una batería como una cisterna de agua, capaz de almacenar el líquido para ser utilizado cuando sea necesario. Las baterías como las que construía Alessandro Volta utilizan la propiedad de algunos metales de liberar o retener electrones. Los átomos de zinc están formados por un núcleo de protones y neutrones rodeado por una nube de electrones, algunos de los cuales no están muy firmemente sujetos y pueden escapar fácilmente. Cuando el zinc entra en contacto con una solución ácida como el vinagre o el limón, libera algunos de sus electrones, que pueden ser extraí-

dos y utilizados para alimentar un circuito. Sin embargo, los electrones deben regresar de algún modo a la batería, donde son absorbidos por el cobre sumergido en el ácido.
Nosotros también podemos construir pilas caseras utilizando limones, clavos galvanizados y monedas de un céntimo. Cortamos un limón en dos e insertamos en él la moneda y, a poca distancia, el clavo galvanizado. Medimos la tensión con un tester; deberíamos obtener aproximadamente 1 voltio. Esta batería casera puede proporcionar corrientes de pocos miliamperios. Podríamos utilizarla para alimentar un led, pero necesitaríamos dos para llegar al menos a los 2 voltios.

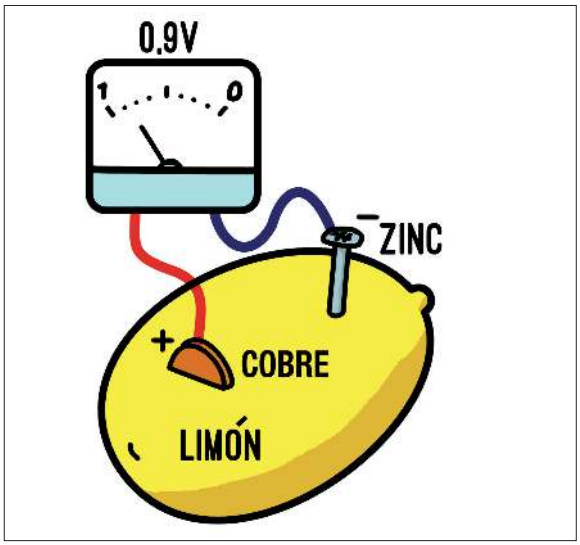


Figura 7.1 – Cómo transformar un limón en una batería.

Para aumentar el voltaje proporcionado por las baterías, podemos conectar más de una en serie. Para aumentar la corriente que proporcionan las baterías, las podemos conectar en paralelo. Así la corriente total será igual a la suma de las corrientes.

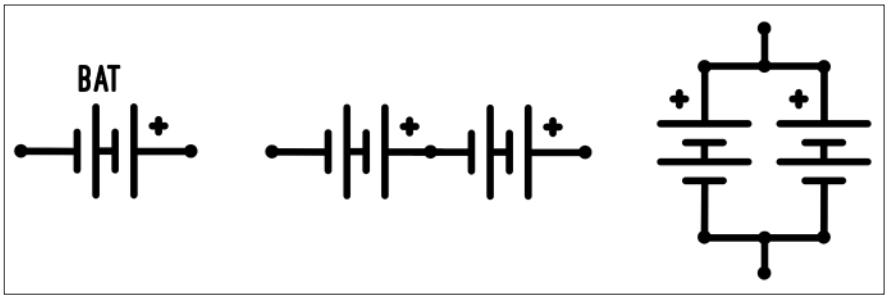


Figura 7.2 – El símbolo de las baterías (a la izquierda), baterías conectadas en serie (en el centro) y en paralelo (a la derecha).

Las baterías se fabrican con distintos tipos de materiales. Antes se utilizaba zinc y carbono y después se pasó a baterías más eficientes que utilizaban metales alcalinos. En las baterías recargables, la reacción química puede ser invertida aplicando una corriente a la batería. Los primeros modelos de baterías recargables utilizaban níquel y cadmio, que sin embargo tenían una capacidad escasa y una duración breve, además del inconveniente de tener que ser descargadas por completo antes de ser recargadas de nuevo (este fenómeno se conoce como *efecto memoria*). Las baterías utilizadas en los coches usan elementos de plomo sumergidos en ácido. Las baterías recargables modernas emplean el litio u otros metales que no presentan el efecto memoria y tienen una capacidad mayor. Para recargarlas, se deben realizar ciclos de carga en los cuales la corriente varía en el tiempo siguiendo un programa. Por ese motivo, puede ser peligroso intentar cargarlas con un simple alimentador y es aconsejable utilizar su cargador específico, si no pueden explosionar o quemarse. Las baterías recargables normalmente tienen una tensión ligeramente inferior a las correspondientes baterías recargables (por ejemplo, 1,2 V en lugar de 1,5 V).
Existen muchos tipos de baterías y cada modelo tiene su tensión específica y una capacidad expresada en amperios por hora (Ah). Las baterías pequeñas pueden proporcionar desde algunos centenares de mAh hasta un centenar de Ah en las baterías para automóviles.

Tabla 7.1 - Características eléctricas de algunas baterías.

Tipo de batería	Voltaje (voltios)	Capacidad (mah)
AAA (zinc-carbono)	1,5	500
AAA (alcalina)	1,5	1200
AAA (iones de litio)	1,25	800-1000
AA (zinc-carbono)	1,5	500-1000
AA (alcalina)	1,5	1800-2500
AA (iones de litio)	1,25	2200-2900
C	1,5	4000-8000
D	1,5	8000-12000
Transistor, rectangular	9	500

Podemos utilizar las baterías en nuestros prototipos conectándolas mediante clips o utilizando paquetes que agrupan en serie pilas de 1,5 voltios de tipo AA o AAA. Los paquetes de baterías están disponibles en distintas configuraciones y pueden proporcionar tensiones de 3, 4,5, 6, 9 y 12 voltios.

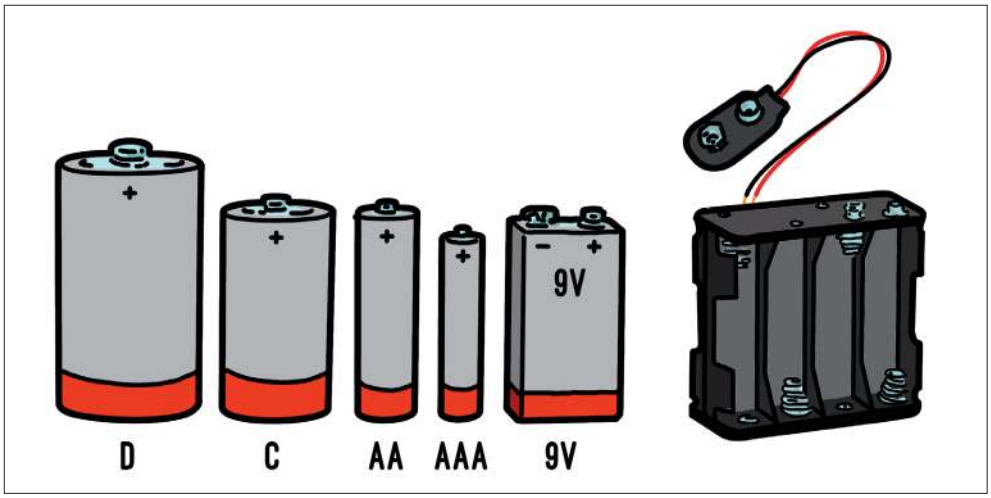


Figura 7.3 – Varios modelos de batería con la correspondiente sigla convencional indicada, clip para pila de 9 voltios y un paquete para baterías.

¿Cuánto dura una batería?

¿Cómo se puede determinar la duración de una batería? Cada batería se caracteriza por un voltaje y por la capacidad de proporcionar corriente, indicada con un número determinado de A o mA por hora.

Para calcular la duración de una batería, debemos saber cuánto consume el circuito que conectaremos, es decir, cuánta corriente necesita. Los acumuladores son comparables a una cisterna llena de agua; cuanto mayor sea su capacidad, mayor será el tiempo de funcionamiento. La duración depende también del diámetro de la tubería que se utilizará para que salga el agua.

Supongamos que tenemos un circuito que consume 100 mA y una batería de 3000 mAh. El circuito funcionará:

$$t = \frac{3000\ \text{mAh}}{100\ \text{mA}} = 30\ \text{h}$$

Para saber la corriente que consume el circuito, podemos realizar el cálculo o bien medirla con un tester. La duración que obtenemos es solo teórica porque en realidad los fenómenos electroquímicos que ocurren en el interior de la pila hacen que, a un punto determinado, la batería se colapse.

La corriente que puede proporcionar una batería no puede ser tan grande como nosotros queramos. Podríamos hacer este razonamiento: si la batería del ejemplo anterior puede suministrar en una hora 3 A, podríamos solicitar una corriente mayor

en menos tiempo. Por ejemplo, podríamos solicitar 6 A en media hora. Sin embargo, la batería no conseguiría suministrar esta corriente y se sobrecalentaría, dañándose. La corriente máxima que puede suministrar es de unos 3 A, pero durante un tiempo muy inferior a una hora y con el riesgo de dañarse irreparablemente.

No es sencillo saber si una batería está cargada o no. Para las baterías alcalinas podemos realizar una medición de su tensión con el tester y comprobar que la tensión sea aproximadamente del 80 % del valor nominal. Es decir, de 1,2 voltios para las baterías de 1,5 voltios y de aproximadamente 7,5 voltios para las baterías de 9 voltios. Para las baterías recargables no es posible utilizar este método empírico porque mantienen siempre la misma tensión. La carga de una pila se evaluaría midiendo la tensión con la batería conectada a una carga que identifique aproximadamente la mitad de la intensidad máxima horaria de la corriente indicada sobre la pila. Si quisiéramos comprobar el estado de carga de una batería de 9 V, deberíamos asumir como máxima corriente una de 250 mA, puesto que la intensidad máxima horaria de la corriente es de 500 mA. Con estos datos, obtenemos la resistencia que deberíamos conectar a la batería:

$$R = \frac{9\ V}{250\ mA} = 36\ \Omega$$

Por tanto, utilizaremos una resistencia de 39 Ω porque de 36 Ω no existen. La corriente que atravesará la resistencia no es pequeña, por lo que calculamos la potencia que deberá absorber la resistencia.

$$P = i^2R = 0{,}25^2 \cdot 39 = 2{,}4\ \text{watt}$$

La resistencia deberá soportar una potencia mayor que 2,4 vatios. Ahora conectamos la resistencia a la batería y medimos la corriente que la atraviesa. Cuanto más cerca esté del valor de 250 mA, más cargada estará la batería.

Generadores ideales

En sus cálculos, electrónicos y electrotécnicos utilizan con frecuencia generadores ideales y, por tanto, solo teóricos. Existen dos tipos de generadores: el de tensión y el de corriente. El generador de tensión ideal es un dispositivo capaz de suministrar una tensión específica con una disponibilidad infinita de corriente. Es como una batería que no se descarga nunca y que no tiene límites sobre la corriente que puede proporcionar. El generador de corriente ideal proporciona un valor de corriente muy preciso y una tensión cualquiera. Nos cuesta imaginar algo así, porque normalmente

trabajamos con pilas o baterías que son lo mejor que han conseguido fabricar los ingenieros como generadores de tensión. Las baterías y los generadores reales serían como una combinación de generadores de tensión, corriente y alguna resistencia.

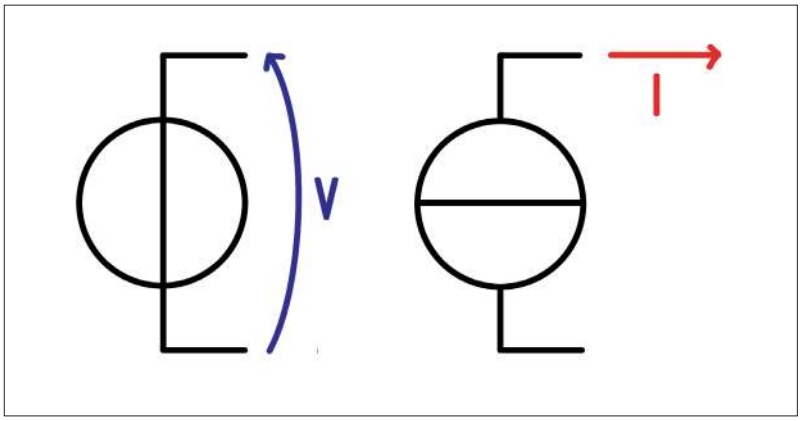


Figura 7.4 – Símbolo de un generador de tensión ideal (a la izquierda) y de un generador de corriente ideal (a la derecha).

Cuando realizamos los cálculos para un circuito, normalmente pensamos en que está alimentado por generadores de tensión ideales. Los generadores de corriente son menos frecuentes, pero se utilizan para el modelado, es decir, para explicar con fórmulas matemáticas dispositivos o componentes concretos. Por ejemplo, el modelo matemático del transistor bipolar incluye un generador de corriente.

Alimentadores

Depender de las baterías es incómodo y caro. Todo laboratorio dispone de uno o más alimentadores. Existen alimentadores de tensión fija y otros regulables. Los alimentadores de laboratorio tienen regulaciones para la tensión y para la corriente. Si no queremos que a un circuito llegue más de un amperio, podemos manipular el mando de la corriente para limitarla a nuestro gusto. Antes de conectar el circuito, ajustaremos la tensión y la corriente deseadas y, después, conectaremos el circuito. Si el circuito necesitara una corriente mayor, el alimentador no se la proporcionaría y se encendería una luz de advertencia para indicarlo. Los alimentadores profesionales indican, en pantallas digitales o con agujas, los valores configurados. Los alimentadores de banco pueden suministrar tensiones de hasta 30/50 voltios y corrientes de hasta una decena de amperios. Algunos modelos duales unen dos alimentadores en uno y proporcionan alimentaciones dobles, por ejemplo, +/-12 voltios.

¿Cómo funciona un alimentador?

El alimentador extrae la tensión de red a 220 V en corriente alterna y la reduce a un valor inferior en corriente continua. Siempre se han utilizado distintas tecnologías. El método más sencillo es utilizando un diodo y un transformador. El transformador es necesario para reducir la tensión, por ejemplo, de 220 V a 5 V. El diodo deja pasar solo la corriente que lo recorre en el sentido correcto. El resultado es una corriente pulsatoria que puede ser nivelada con un condensador electrolítico de gran capacidad. El condensador nivela la tensión, la cual se ve afectada por muchas interferencias. Este estabilizador se denomina rectificador de media onda.

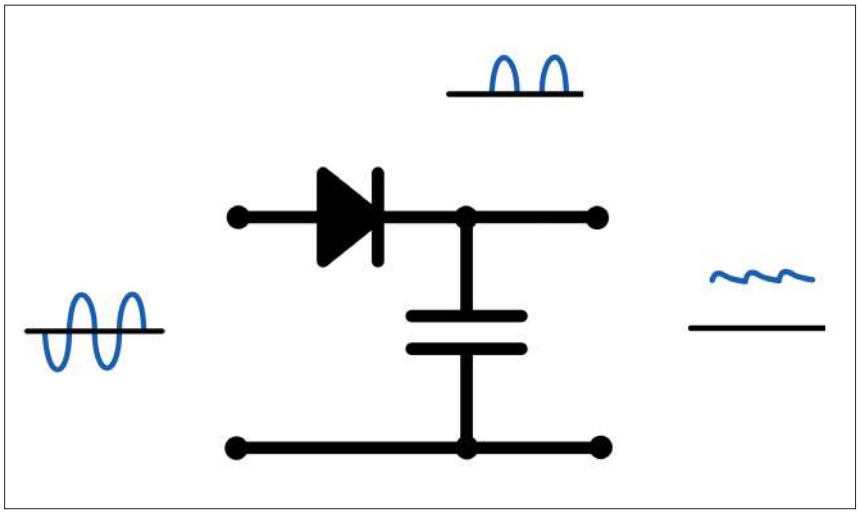


Figura 7.5 – Esquema eléctrico de un rectificador de media onda.

Hasta hace poco la solución más común para construir un alimentador era utilizar un puente rectificador, es decir, un dispositivo formado por cuatro diodos conectados de un modo concreto, capaz de rectificar entre sí las curvas de la corriente alterna y de combinarlas unas junto a otras.

Los puentes rectificadores de cuatro diodos se pueden adquirir ya fabricados, o bien se pueden montar con simples diodos. El puente tiene cuatro terminales: dos a los cuales llega la corriente alterna y dos a los que extraemos la corriente rectificada. En la fase positiva, la corriente alterna puede recorrer solo dos diodos. En la fase negativa, recorre otros dos. Los diodos están conectados de manera que presenten siempre en sus terminales más o menos una corriente casi continua (por impulsos).

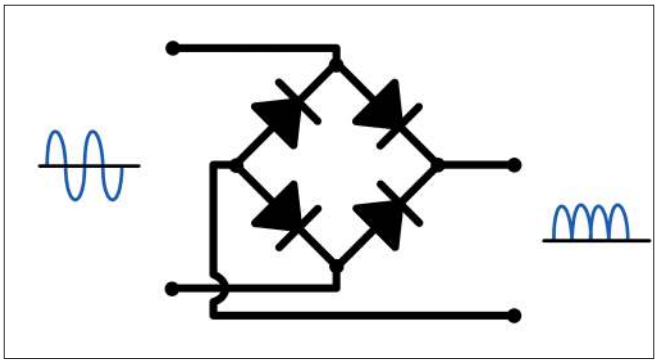


Figura 7.6 – Esquema eléctrico de un puente rectificador de diodos.

La secuencia de semiondas que se extrae del puente rectificador se nivela con un condensador. Para estabilizar posteriormente la tensión se inventaron circuitos integrados reguladores, que nivelan la tensión de manera muy precisa y estable. Existen circuitos estabilizadores de tensión fija y regulables.
La tensión en exceso se transforma en calor, por lo que estos componentes se pueden calentar mucho. Para facilitar la disipación del calor se añaden aletas de refrigeración.
Desde hace algunos años, la tecnología predominante es la de los alimentadores conmutados o *switching*, que no necesitan el uso de un transformador. Los alimentadores conmutados tienen un alto rendimiento y se calientan como los que tienen regulador de tensión, porque no utilizan métodos de resistencia para reducir la tensión. El funcionamiento es bastante simple: la señal se interrumpe a su entrada de manera rítmica y regular para que puedan pasar solo impulsos, nivelados y estabilizados por bobinas y condensadores.

Fabricación de un alimentador estabilizado

Muchos circuitos electrónicos que utilizan microcontroladores o chips digitales funcionan exactamente con 5 voltios, una tensión difícil de obtener con baterías. En Internet podemos comprar un alimentador de laboratorio a precios muy asequibles. Para nuestros primeros experimentos, podemos construir un pequeño circuito regulador reutilizando el alimentador de un teléfono móvil o de un electrodoméstico que ya no utilicemos. Lo modificaremos para fabricar un alimentador estabilizado de 5 voltios. El circuito presentado funciona en realidad también con baterías, aunque tengan una tensión superior a la que proporciona el circuito.

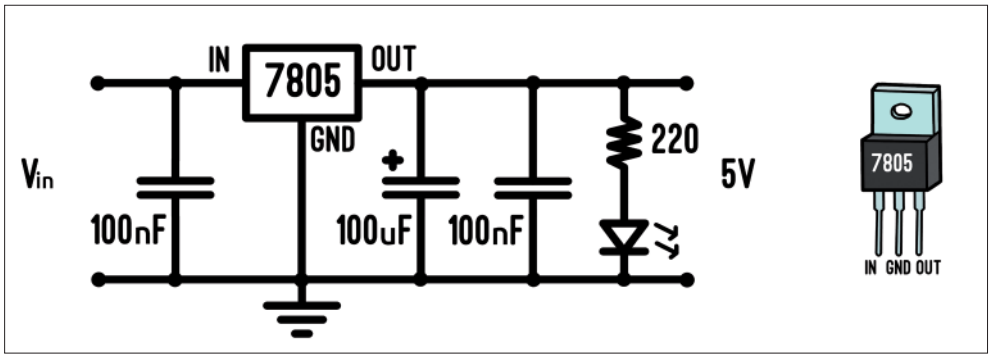


Figura 7.7 – Esquema eléctrico de tensión con el circuito 7805.

El corazón de nuestro alimentador será un regulador estabilizado de tensión; un componente especial que se parece a un transistor, pero que en realidad es un circuito electrónico complejo en miniatura.
Este componente se conoce con el nombre 7805 (o LM7805 o 78LM05, según el fabricante). Tiene tres terminales: uno se conecta a tierra, otro es el terminal de entrada y el tercero es el de salida. Su símbolo es un simple rectángulo. La máxima corriente que proporciona el chip es de un amperio.
En el circuito hay algunos condensadores para estabilizar las corrientes y para eliminar las interferencias. El led, conectado con una resistencia a los 5 V, señala el funcionamiento del alimentador. Este led es de tipo común y, por tanto, la corriente que necesita es de 15 mA. La caída de tensión en los extremos del resistor es de 3 V porque el led necesita 2 V. Calculamos la resistencia:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{3\ V}{15\ mA} = \frac{3\ V}{0{,}015\ A} = 200\ \Omega$$

Utilizaremos una resistencia de 220 Ω (porque de 200 Ω no existen).
Los componentes que necesitamos son:

- una placa de pruebas;
- un viejo alimentador de al menos 5 voltios o una batería de 9 V con clip de conexión;
- un LM7805;
- un led;
- una resistencia de 220 Ω;
- dos condensadores de 100 nF;
- un condensador de 100 µF;
- un *jumper* o cables para las conexiones.

Veamos cómo montarlo todo sobre la placa de pruebas:

1. Cogemos el regulador 7805 y lo colocamos junto al borde de la placa con los pines insertados en tres columnas distintas (por ejemplo, en E1, E2 y E3). Prestamos atención a en qué dirección lo insertamos. El terminal de la primera columna debe ser el correspondiente al pin IN y el de la tercera columna, al pin OUT.
2. Conectamos el clip para pila a la placa de pruebas. El cable rojo se inserta en la primera columna de manera que se corresponda con el pin de entrada (IN) del 7805. Comprobamos si es necesario soldar los terminales del clip. Si no, no conseguiremos introducirlos en los orificios de la placa.
3. Conectamos el cable negro del clip al raíl azul de la placa de pruebas.
4. Con un pequeño *jumper*, conectamos el pin central del 7805 al raíl azul con el negativo de la batería.
5. Con un segundo *jumper*, conectamos el pin de salida (OUT) del 7805 al raíl rojo de la placa.
6. Añadimos el condensador de 100 nF de manera que tenga un terminal en la primera y en la segunda columna.
7. Añadimos el segundo condensador de 100 nF de manera que tenga un terminal en la segunda y en la tercera columna.
8. Insertamos el condensador de 100 µF sobre los dos raíles de alimentación. El condensador electrolítico está polarizado y los pines están marcados con los signos + y -. El signo + va en el raíl rojo.
9. Añadimos el led en serie a la resistencia de 220 Ω. Conectamos el cátodo (-) del led al raíl de alimentación negativa con un pequeño *jumper* o un puente. Conectaremos la resistencia entre el ánodo (+) del led y el raíl rojo de la placa.

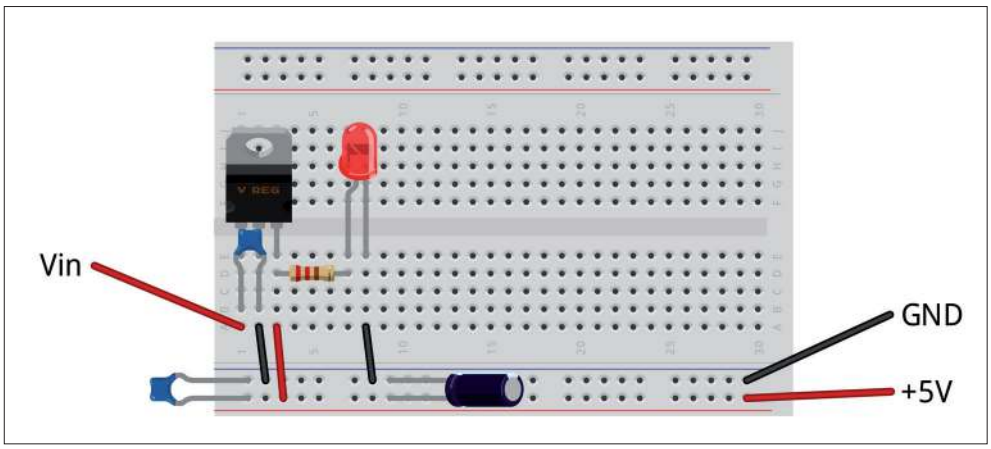


Figura 7.8 – Montaje del alimentador estabilizado de 5 voltios en una placa de pruebas.

Si en lugar de la batería utilizamos un alimentador de recuperación, debemos cortar su conector, separar los dos cables e identificar el positivo y el negativo con la ayuda de un multímetro. Con el multímetro comprobamos también la tensión que proporciona el alimentador. Antes de insertar los cables en la placa de pruebas, será necesario soldarlos o conectarlos a pequeños fragmentos de cable rígido.

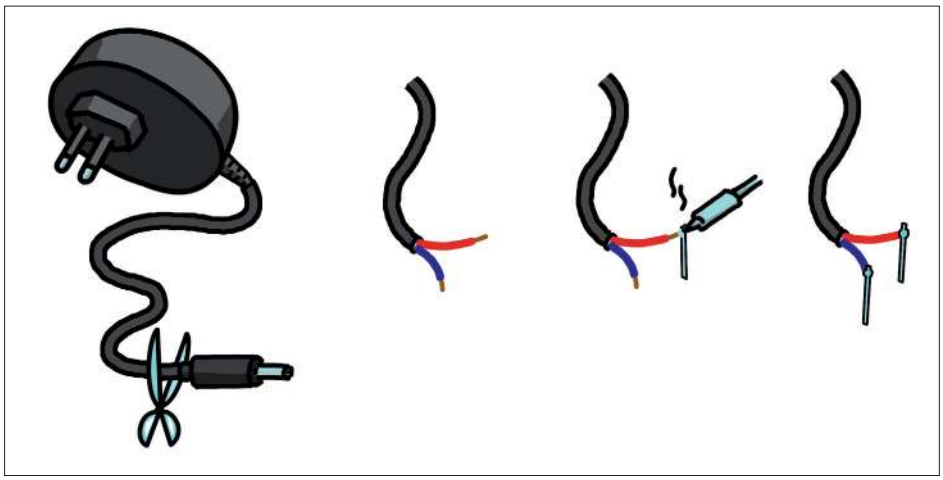


Figura 7.9 – Cómo modificar un alimentador para teléfono móvil y utilizarlo en nuestro circuito.

A la entrada del 7805 podemos suministrar cualquier tensión entre 5 y 20 voltios, pero el regulador de tensión proporcionará siempre 5 voltios en su pin de salida. Si la tensión de entrada es mucho mayor respecto a la tensión estabilizada, el componente se calentará mucho, porque la diferencia de tensión se transformará totalmente en calor. En estos casos, es mejor añadir un disipador, un componente especial perfilado de aluminio con aletas y un orificio de fijación. Podemos crear un disipador de calor para el 7805 utilizando un trozo de metal, mejor si es de aluminio, que se fija con una tuerca y un perno al cuerpo del componente. El disipador debe tener un orificio de al menos 3 mm de diámetro.
Existen distintos modelos de reguladores de tensión, ajustados para varios voltajes. El 7812 se utiliza para alcanzar los 12 V, el 7806 para los 6 V y el 7809 para los 9 V. Las dos últimas cifras de la sigla del chip indican la tensión proporcionada. Existen también reguladores para estabilizar tensiones negativas que se utilizan a la par con los reguladores de la serie 78xx y se identifican con una sigla que empieza por 79xx. Para conseguir 5 V negativos, debemos utilizar un 7905.
El esquema que acabamos de ver se puede reproducir cada vez que necesitemos 5 voltios. Podríamos transferirlo todo a una placa perforada y buscar un contenedor adecuado para tener siempre a disposición nuestro alimentador estabilizado.

Fabricación de un alimentador estabilizado regulable

Para nuestros experimentos, puede ser que necesitemos tensiones especiales que un regulador fijo no puede producir. Hemos visto que los divisores de tensión ofrecen pésimos resultados. Existe un circuito integrado denominado LM317 con el cual podemos construir un alimentador con la tensión de salida regulable al gusto. También este componente esconde en su interior un complejo circuito electrónico capaz de regular la tensión mediante solo dos resistencias externas. Igual que para los reguladores de la serie 78xx, la tensión de entrada puede valer también una veintena de voltios. Si la tensión estabilizada es muy inferior a la tensión proporcionada a la entrada, el componente se calentará mucho, porque el salto de tensión se transformará por completo en calor para disipar.

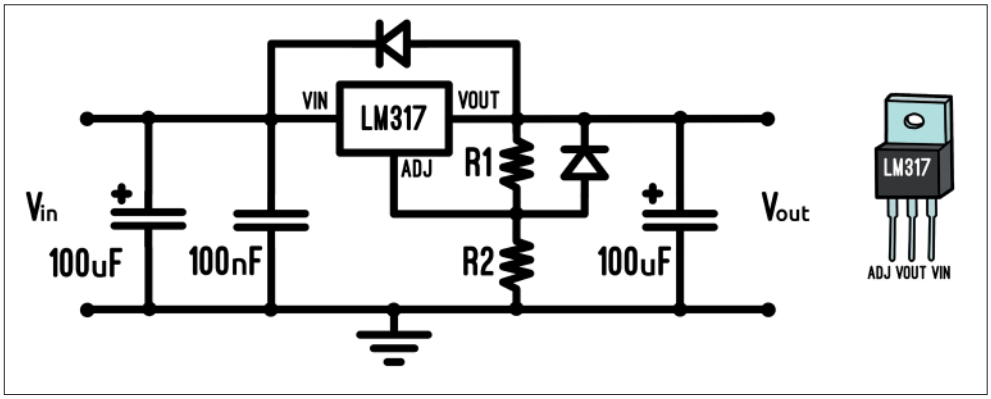


Figura 7.10 – Circuito regulador de tensión con LM317. Su pinout no es compatible con el de los reguladores 78xx.

La tensión de salida se ajusta seleccionando los valores para R_1 y R_2. Si sustituimos R_2 con un potenciómetro, podemos modificar la tensión de salida. Para seleccionar las resistencias, se utiliza la fórmula que aparece en la hoja de especificaciones. Para una tensión de salida de Vo, podemos elegir la resistencia R_1 y calcular R_2 con:

$$R_2 = \left(\frac{Vo}{1{,}25} - 1 \right) \cdot R_1$$

Ahora vamos a fabricar un alimentador para suministrar 3,3 V, una tensión especial, pero muy utilizada en los circuitos integrados modernos. Los componentes que necesitamos son:

- una placa de pruebas;
- un viejo alimentador de 5 V o más o una batería de 9 V con clip de conexión;

- un LM317 (mejor si es con disipador de calor);
- un led;
- R_1, una resistencia de 330 Ω;
- R_2, una resistencia de 220 Ω;
- dos condensadores de 100 nF;
- un condensador de 100 µF;
- un *jumper* o cables para las conexiones.

La secuencia de montaje en la placa de pruebas es la siguiente:

1. Cogemos el regulador LM317 y lo introducimos junto al borde interno de la placa con los terminales en las columnas 5, 6 y 7.
2. Añadimos R_1 y R_2. El espacio es pequeño y puede ser que tengamos que cortar y plegar los terminales de las resistencias.
3. Insertamos un pequeño puente entre el pin central del LM317 y el raíl rojo.
4. Añadimos los condensadores de 100 nF y de 100 µF, insertándolos directamente en los dos raíles de alimentación.
5. Añadimos el segundo condensador de 100 nF.
6. Conectamos el led y la resistencia de 220 Ω.
7. Conectamos por último el clip para la pila de 9 V, introduciendo el cable rojo en la misma columna que el tercer pin del LM317 y el cable negro directamente en el raíl azul. Los cables del clip son flexibles, por lo que quizás tengamos que soldarlos y unirlos a dos pequeños trozos de terminal o de cable rígido.

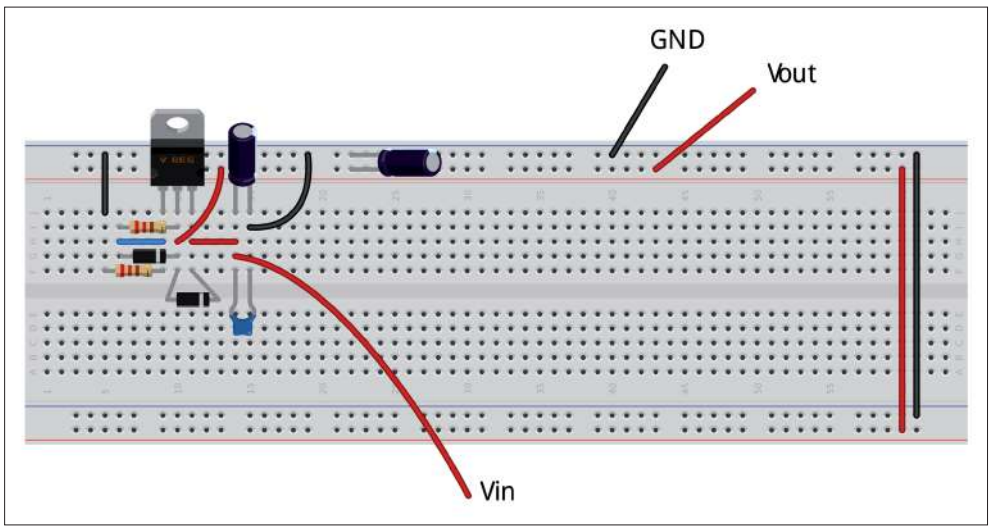


Figura 7.11 – El circuito regulador de tensión montado sobre una placa de pruebas.

En lugar de la batería, podemos utilizar un alimentador de recuperación, modificándolo como hemos hecho con el 7805.

Alimentación dual

Algunos circuitos necesitan una alimentación dual, es decir, una tensión positiva, una toma de tierra (o 0 voltios) y una tensión negativa. No todo el mundo tiene un alimentador de laboratorio dual. Por esta razón, si se necesita, podemos conectar en serie dos alimentadores ajustados en la misma tensión, así como dos baterías. Así, tomando como 0 voltios (o central) la conexión entre el positivo y el negativo de los alimentadores, tendremos un par de tensiones duales. ¡En electrónica las referencias siempre son relativas!

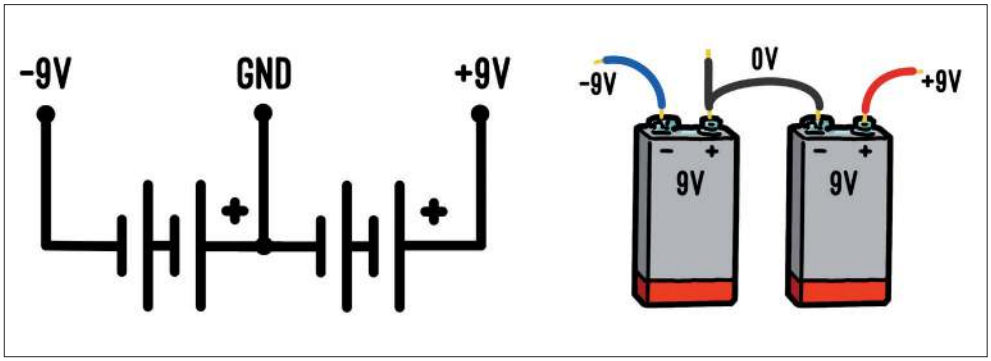


Figura 7.12 – Utilizamos dos baterías en serie para conseguir un alimentador dual de +/- 9 voltios.

Si no disponemos de dos alimentadores, podemos utilizar uno solo combinado con el circuito generador de masa que hemos visto en el capítulo anterior.

La masa

Las tensiones son magnitudes relativas. Por este motivo, es importante proporcionar un punto de referencia común a todos los circuitos conectados juntos. A este punto se le atribuye el potencial de 0 voltios y se define la toma de tierra (a veces también conocida como común). La toma de tierra debe ser única dentro de un circuito, así como en varios circuitos conectados entre sí. El término *masa* deriva del hecho que antes los circuitos se metían en contenedores metálicos a los cuales se conectaba la alimentación negativa.
En las transmisiones telegráficas y de radio se utiliza como referencia de 0 voltios la misma tierra. De hecho, el circuito se conecta a un palo clavado en el suelo, de manera que transmisor y receptor tengan como referencia la tierra, que funciona como un enorme recogedor de cargas negativas.

8

Electrónica digital

En este capítulo hablaremos de circuitos integrados digitales y de sus aplicaciones. Conoceremos las bases de la lógica digital hasta llegar a registros, contadores y memorias. Aunque actualmente es posible utilizar un microcontrolador para desarrollar cualquier tarea, a veces es conveniente utilizar circuitos especializados.

A los inicios de mi carrera electrónica, cuando tenía diez años, me encontré con muchos problemas. Los circuitos que construía muchas veces no funcionaban y yo no tenía ni los medios ni la capacidad para saber el motivo. Pasaba tardes enteras con el soldador humeante en la mano montando y volviendo a montar placas, moviéndome por intentos. Internet no existía, no conocía a nadie que se dedicara a la electrónica y solo podía contar con algún libro. Realmente desalentador. A pesar de ello, mi pasión no se desvaneció, quizás porque en aquellos momentos de desaliento encontré un consuelo en la electrónica digital. Los circuitos integrados digitales eran muy sencillos de entender y, combinándolos un poco entre ellos, se podía conseguir que se encendiera un led, escribir texto en una pantalla de siete segmentos, leer botones e, incluso, lanzarse a diseñar circuitos que sirvieran para algo. Con gran satisfacción, llegué a construirme una placa de control con botonera digital para el equipo de música de mi casa. Los botones controlaban el preamplificador, combinando las entradas con las salidas cuando era necesario. Utilicé simples puertas lógicas que había optimizado con algunas teorías que encontré en un libro de la biblioteca (¡los Mapas de Karnaugh!).

Actualmente podemos comprar un microcontrolador por menos de lo que vale un simple chip digital y programarlo de manera que pueda llevar a cabo las mismas funciones. No siempre se puede utilizar un microcontrolador para todo y, en ocasiones, puede ser más conveniente utilizar simples chips especializados en desarrollar ciertas funciones, como el control de motores o de pantallas o la memorización de informaciones.
Hoy en día, además de los microcontroladores, denominados también MCU (*Micro Controller Unit*), existen circuitos digitales especiales denominados Lógicas programables o FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Dentro de estos chips hay decenas o centenares de miles de puertas lógicas que podemos conectar como deseemos. Con un programador y un ordenador podemos cablear a nuestro gusto los elementos que contiene el chip, como si dentro del circuito integrado hubiera una microscópica placa de pruebas de silicio y una cajonera de gran capacidad repleta de algunos componentes lógicos, además de un buen número de *jumper*s. Gianni Becattini, uno de los pioneros en el campo de los ordenadores personales en Italia, y ahora administrador delegado de AEP, en la conferencia Better Embedded de 2013 explicó que había reconstruido, por placer, el histórico ordenador electrónico PDP11. En lugar de utilizar múltiples placas de pruebas y un número infinito de chips, se preguntó cuál sería el mejor modo de reconstruir su querido ordenador. La solución fue una pequeña placa con un chip FPGA.

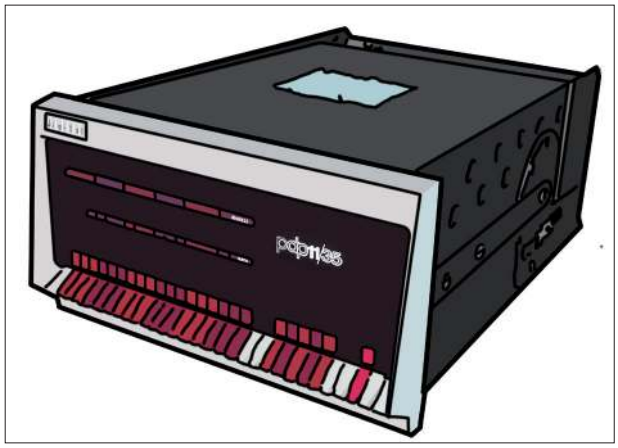


Figura 8.1 – El histórico ordenador PDP11.

Lógica booleana

La electrónica digital utiliza señales muy simples: encendido y apagado. Por esta razón, puede ser muy sencilla de entender y de utilizar, incluso para aquellos que están empezando, aunque se base en las rígidas bases matemáticas del álgebra booleana, inventada por George Boole (1815–1864) en 1854 en la universidad de Cork.

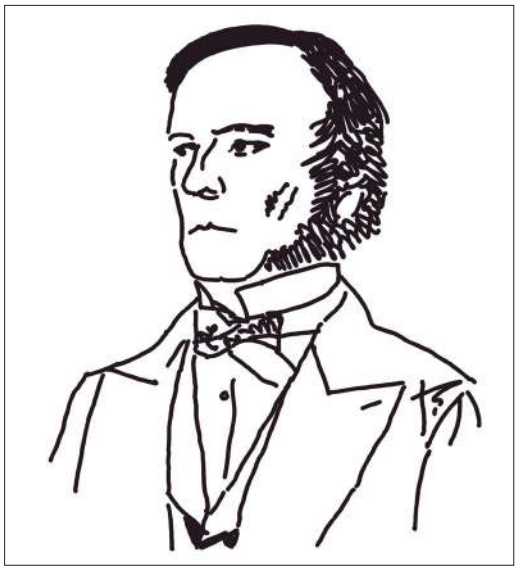


Figura 8.2 – George Boole (1815–1864).

Mientras que nosotros estamos acostumbrados a trabajar con cifras del cero al nueve, George Boole se inventó un mundo matemático en el cual solo existían dos números: el cero y el uno. La información mínima se denomina bit y puede asumir solo uno de estos valores. Con solo dos cifras se pueden realizar operaciones matemáticas como sumas, restas, multiplicaciones y divisiones. Además de las operaciones matemáticas, Boole introdujo operadores lógicos que trabajan con bits. En la época de Boole, en lugar de la electrónica, se utilizaba la mecánica para construir máquinas que aún no se denominaban ordenadores. La electrónica casa bien con los bits y es sencillo construir circuitos solo con dos niveles de tensión. El cero corresponde a la tensión de 0 voltios o a un interruptor abierto, mientras que el uno corresponde a la tensión de alimentación o a un interruptor cerrado.

Puertas lógicas

Antes de que nacieran los circuitos integrados, los circuitos lógicos se construían con relés y válvulas, más tarde sustituidas por transistores. El circuito para ejecutar una simple operación requería muchos componentes. Por este motivo, los primeros ordenadores, como el ENIAC, ocupaban edificios enteros. Hoy en día podemos comprar chips que contienen operadores o puertas lógicas listas para usar. No tenemos (casi) que preocuparnos por cómo han sido construidos ni con cuántos y qué transistores. Las puertas lógicas tienen entradas y salidas sobre las cuales aplicamos las señales eléctricas de encendido y apagado. La lógica booleana proporciona las siguientes puertas:

NOT, AND, OR, XOR. Además de estas puertas fundamentales, encontramos las puertas NAND, NOR y las XNOR, que tienen la particularidad de ser una combinación de una puerta base con una NOT conectada a la salida. Normalmente, las puertas tienen dos entradas, pero es posible encontrar puertas especiales de cuatro u ocho entradas.

La puerta NOT

El operador más simple es la puerta NOT; un elemento con una entrada y una salida. El NOT niega la señal presente en su entrada. Si a una puerta NOT le damos un uno (es decir, 5 voltios), a la salida obtendremos un cero; y viceversa, si en la entrada tenemos un cero, a la salida tendremos un uno. Para describir el funcionamiento de la puerta, se utiliza una tabla conocida como tabla de la verdad. Esta tabla muestra una columna para cada entrada y otra para la salida de la puerta lógica. Tiene tantas filas como posibilidades de entrada existan. La tabla para la puerta NOT es muy simple: tiene una única entrada y una salida, en dos filas.

Tabla 8.1 – Tabla de la verdad para la puerta NOT.

Entrada	Salida
0	1
1	0

Las puertas lógicas, aunque se encuentran dentro de un chip, normalmente se representan mediante símbolos especiales. El símbolo de la puerta NOT es un pequeño triángulo con una bolita en la punta. Algunos chips que contienen puertas NOT son el 74HC04 y el 4049B o 4069B.

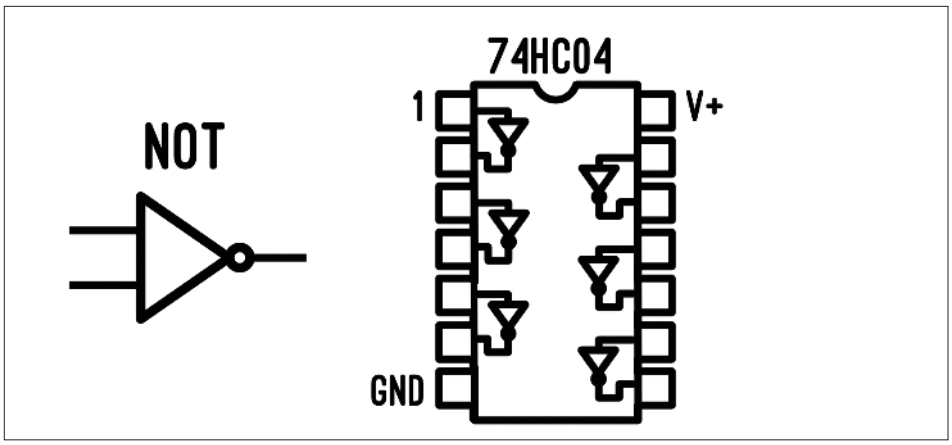


Figura 8.3 – El símbolo de la puerta NOT y el chip 74HC04 con seis puertas NOT en su interior.

Ahora intentaremos hacer un experimento con una puerta NOT. Necesitamos los siguientes componentes:

- una placa de pruebas;
- un circuito integrado 74HC04, con seis puertas NOT con tecnología CMOS;
- un led rojo;
- un led verde;
- dos resistencias de 220 Ω;
- un pulsador normalmente abierto;
- una resistencia de 10 kΩ;
- un alimentador de 5 voltios;
- un condensador de 0,1 µF;
- *jumper*s o cables para realizar las conexiones.

El esquema eléctrico del circuito que realizaremos se muestra en la siguiente figura. En este esquema no hemos representado el chip como un rectángulo genérico, sino que hemos dibujado solo la puerta NOT. Para entender cómo se realiza el circuito, debemos tener a mano el pinout del chip. Para ayudarnos, en los esquemas eléctricos sobre las puertas lógicas, se muestran también los números de los pines del chip. Cuando el chip contiene varias puertas lógicas, a cada elemento se le proporciona un nombre tipo: U1a, U1b, U1c, U1d, etc. En una de las puertas se indican las conexiones para la alimentación y la toma de tierra de todo el circuito integrado.

NOTA

Algunos circuitos integrados digitales requieren una tensión de alimentación muy precisa que suele ser de 5 voltios. Si esta indicación no se respeta, el circuito podría dañarse irremediablemente.

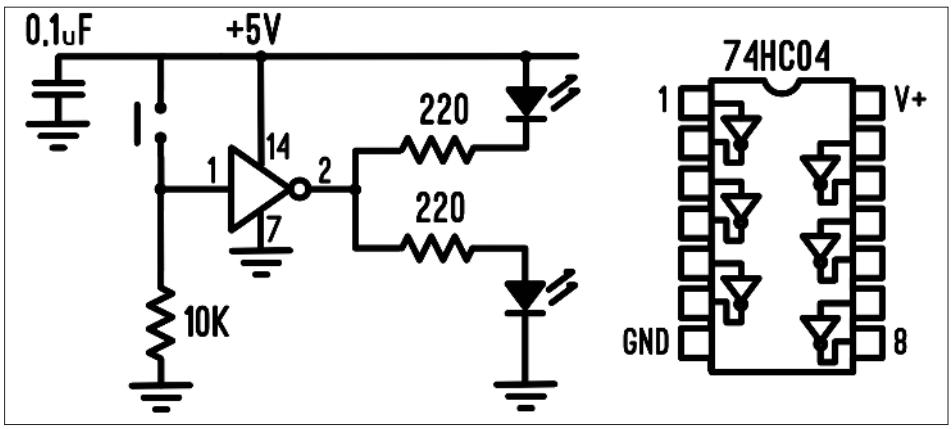


Figura 8.4 – Esquema eléctrico del circuito de prueba de la puerta NOT y pinout del chip 74HC04.

Construimos el circuito:

1. Unimos los raíles sobre los bordes de la placa para tener la alimentación en ambos lados.
2. Insertamos el chip en el centro de la placa.
3. Conectamos el pin 14 del 74HC04 al raíl de alimentación rojo a 5 voltios.
4. El pin del 74HC04 se conecta al raíl azul a 0 V (GND).
5. Añadimos el pulsador y la resistencia de 10 kΩ y los conectamos con un *jumper* al pin 1 del circuito integrado.
6. Realizamos una serie formada por la resistencia de 220 Ω y por el led rojo y conectamos el cátodo del led a la toma de tierra.
7. Realizamos una segunda serie formada por la resistencia de 220 Ω y por el led verde y conectamos el cátodo del led al raíl con los 5 voltios.
8. Con un *jumper*, unimos el terminal que queda libre de los dos resistores.
9. Conectamos el punto común a los dos resistores al pin 2 del circuito integrado.
10. Añadimos el condensador de *bypass* sobre los dos raíles de alimentación.
11. Alimentamos el circuito a 5 voltios.
12. Pulsamos el botón.

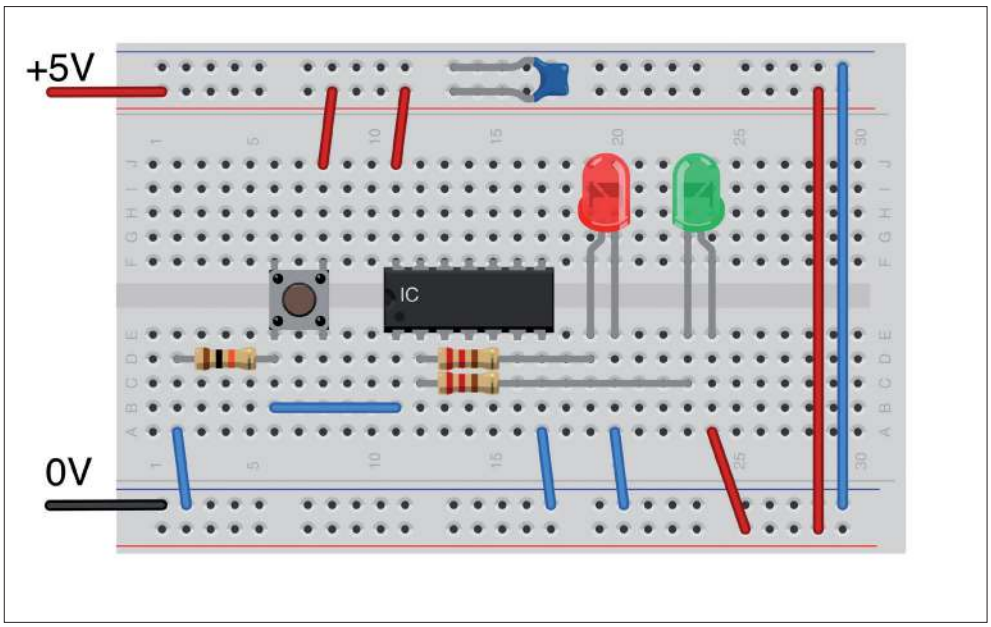


Figura 8.5 – El circuito de prueba de la puerta NOT montado en una placa de pruebas.

La entrada de la puerta NOT está conectada a tierra mediante la resistencia de 10 kΩ. A través de la resistencia no circula corriente y la entrada es a 0 voltios. La salida de la puerta está en el estado alto y el led rojo está encendido. Al pulsar el botón, llevamos la entrada a 5 voltios y la salida de la puerta pasará al estado bajo; se encenderá el led verde que está conectado entre 5 voltios y la salida a 0 voltios. La resistencia de 10 kΩ sirve para evitar que se cree un cortocircuito y limitar la corriente cuando pulsamos el botón y conectamos los 5 voltios a la entrada.
El condensador de 0,1 µF sirve para nivelar posibles interferencias procedentes de la línea de alimentación o que podría generar el chip cuando las puertas lógicas cambian de estado.
Como práctica, probemos a conectar dos puertas NOT en serie y a conectar un led a cada salida para identificar el estado.

La puerta OR

Nos definimos seres lógicos y racionales, aunque, en realidad, inuestra mente lo es todo excepto lógica! Nuestro pensamiento aspira a la lógica matemática, pero carece de rigor. Las puertas lógicas no tienen incertidumbres y su comportamiento está regulado por una tabla de la verdad. Para nosotros, un "o bien" podría adquirir distintos significados simplemente modificando la entonación de la voz o cambiando la expresión de la cara. Una puerta OR, en cambio, tiene siempre el mismo comportamiento.

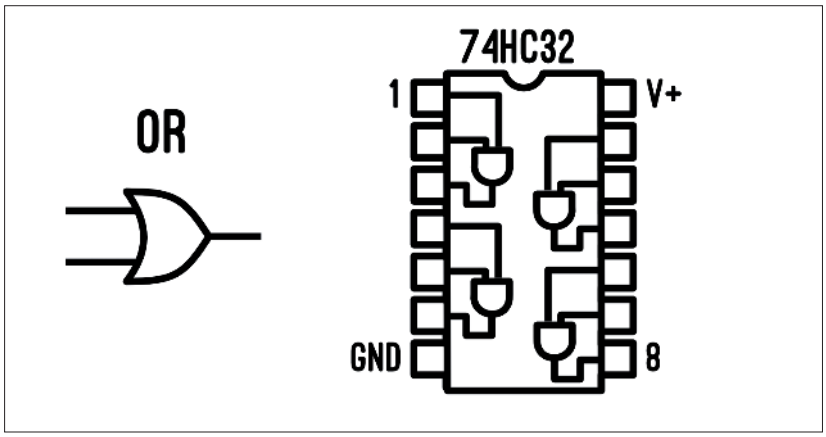


Figura 8.6 – El símbolo de la puerta OR y el chip 74HC32 con cuatro puertas en su interior.

Para que el terminal de salida de la puerta OR sea igual a 1 basta con que una de las entradas esté en el nivel alto. Esta vez, la tabla de la verdad tiene cuatro filas, para contemplar todas las posibles combinaciones de entradas.

Tabla 8.2 – Tabla de la verdad para la puerta OR.

Entrada A	Entrada B	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Algunos de los chips que contienen puertas OR son, por ejemplo, el 74HC32 o el 4071B. Para hacer un experimento con las puertas OR, necesitamos estos componentes:

- una placa de pruebas;
- un circuito integrado 74HC32 con cuatro puertas OR con tecnología CMOS;
- un led;
- un resistor de 220 Ω;
- dos pulsadores normalmente abiertos;
- dos resistores de 10 kΩ;
- un alimentador a 5 V;
- un condensador de 0,1 µF;
- *jumpers* o cables para realizar las conexiones.

El esquema eléctrico del circuito se muestra en la siguiente figura:

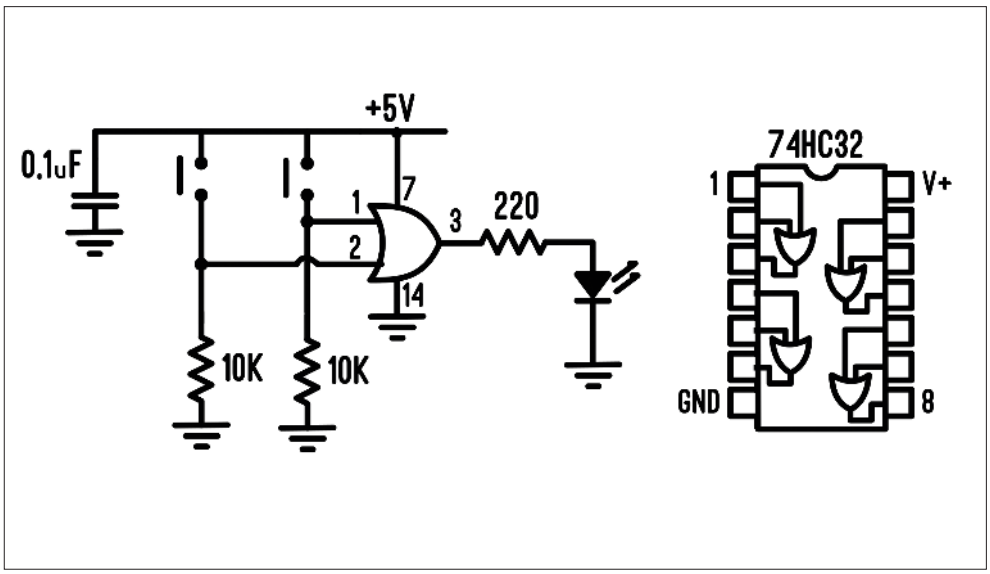


Figura 8.7 – Esquema eléctrico del circuito de prueba para la puerta OR.

Procedemos al montaje del circuito:

1. Unimos los raíles sobre los bordes de la placa para tener la alimentación en ambos lados.
2. Insertamos el chip en el centro de la placa.
3. Conectamos el pin 14 del chip 74HC32 al raíl de alimentación rojo a 5 voltios.
4. El pin 7 del chip 74HC32 se conecta al raíl azul a 0 voltios (GND).
5. Añadimos el pulsador y la resistencia de 10 kΩ y los conectamos con un *jumper* al pin 1 del circuito integrado.
6. Añadimos el segundo pulsador y la resistencia de 10 kΩ y los conectamos con un *jumper* al pin 2 del circuito integrado.
7. Realizamos una serie formada por la resistencia de 220 Ω y el led y conectamos el cátodo del led a la toma de tierra.
8. Conectamos la resistencia de 220 Ω al pin 3 del circuito integrado.
9. Añadimos el condensador de *bypass* sobre los dos raíles de alimentación.
10. Alimentamos el circuito a 5 voltios.
11. Pulsamos los botones.

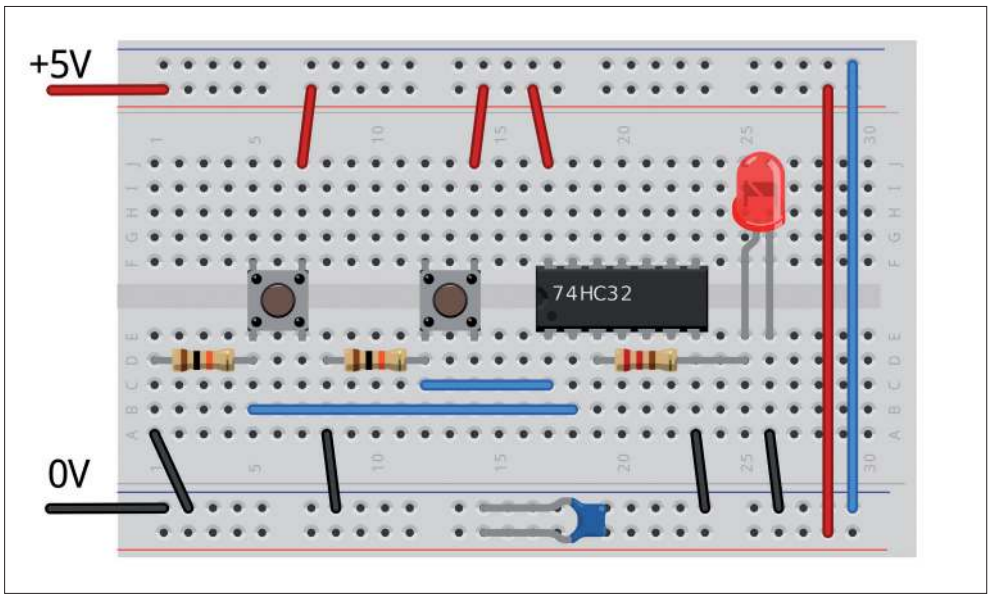


Figura 8.8 – El circuito de prueba de la puerta OR montado sobre una placa de pruebas.

Las entradas de la puerta OR están conectadas a tierra mediante las resistencias de 10 kΩ. Al pulsar uno de los dos botones, llevamos una entrada a 5 voltios y la salida

de la puerta pasará a nivel alto. Basta con pulsar uno de los dos pulsadores para encender el led conectado a la puerta OR.

La puerta AND

La salida de la puerta lógica AND asume el nivel alto solo cuando ambas entradas son altas, si no está siempre a nivel bajo. Esta es su tabla de la verdad:

Tabla 8.3 – Tabla de la verdad para la puerta AND.

Entrada A	Entrada B	Salida
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Estos son algunos de los chips que contienen puertas lógicas: 74HC08, 74HC11, 74HC21, 4073B y 4081B.

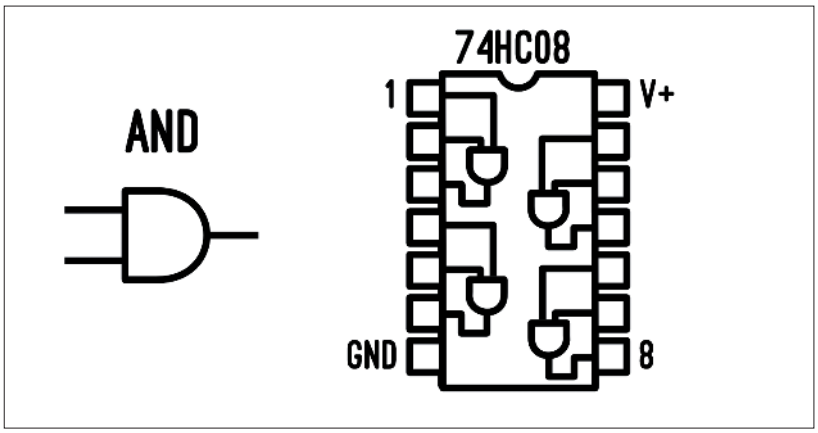


Figura 8.9 – El símbolo de la puerta AND y el chip 74HC08 con cuatro AND en su interior.

Como práctica, vamos a realizar un circuito de prueba para la puerta AND similar al que hemos construido para la puerta OR. El circuito integrado que utilizaremos en este caso es el chip 74HC08.

La puerta XOR

La OR-exclusiva es una puerta particular que detecta cuándo las señales a su entrada tienen el mismo valor o son distintas. Esta es su tabla de la verdad:

Tabla 8.4 – Tabla de la verdad para la puerta XOR.

Entrada A	Entrada B	Salida
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

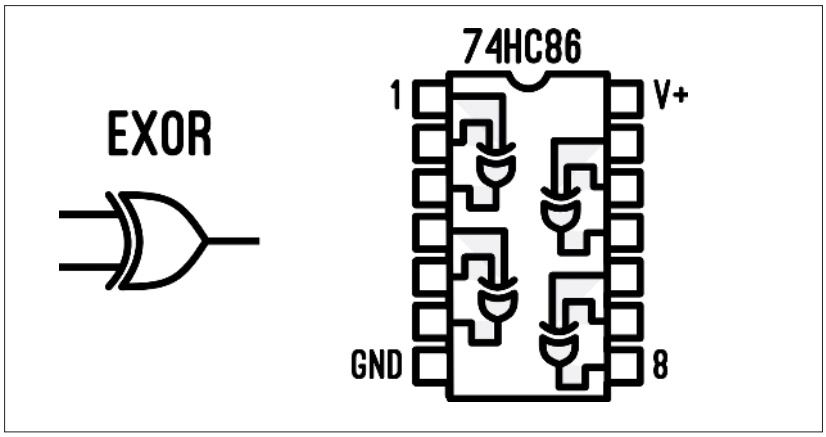


Figura 8.10 – El símbolo de la puerta XOR y el chip 74HC86 con cuatro puertas EXOR en su interior.

La XOR es un simple sumador binario. Los bits valen solo 0 o 1 y son números. Los podemos sumar como lo sabemos hacer con los números decimales del 0 al 9.

$0+0=0$
$0+1=1$

Hasta aquí ningún problema. ¿Pero qué ocurre si tenemos la siguiente suma?

$1+1=?$

¡No podemos escribir un 2! Si sumamos 9 y 1 no podemos escribir:

$9+1=10$

¿Qué ocurre? Los números del 0 al 9 son unidades. Si añadimos 1 al 9 tenemos una decena y, por tanto, escribimos 1 seguido de 0. Con los números binarios ocurre lo mismo; sumando una unidad al número 1 nos quedamos sin cifras en las unidades y escribimos:

$1+1=10$

Para continuar así:

$$10 + 1 = 11$$
$$11 + 1 = 100$$

La puerta XOR está considerada como un simple sumador sin llevar, porque es capaz de sumar dos simples bits perdiendo el hecho de llevar (no sabría cómo indicárselo porque solo tiene una salida).
Algunos chips que contienen puertas XOR son el 74HC86 y el 4030B.

Las puertas NAND, NOR y XNOR

Para cada puerta lógica existe también la correspondiente versión negada. Una puerta NOR es igual a una OR a la que se ha conectado una NOT a su salida.

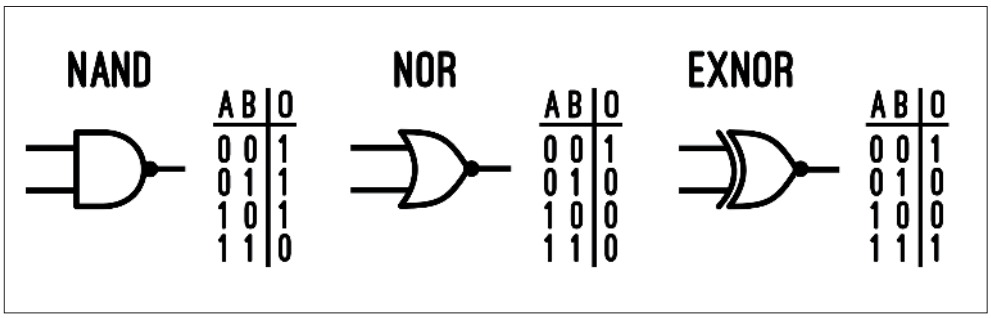


Figura 8.11 – Los símbolos de las puertas NAND, NOR y XNOR.

A parte de la comodidad de no tener que usar dos chips para invertir la salida de una puerta lógica, estas puertas son especiales porque con una NAND, según la lógica booleana, es posible crear cualquier otro tipo de puerta. Esto también vale para la puerta NOR. Si disponemos solo de una NOR o una NAND, podemos crear cualquier otra puerta.

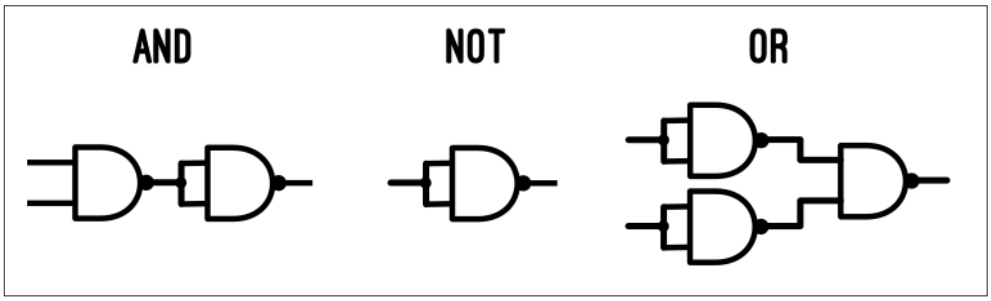


Figura 8.12 – Cómo crear una puerta NOR, AND u OR utilizando solo puertas NAND.

Algunos chips con puertas NOR son: 74HC02, 74HC27, 4001B y 4002B. Para las puertas NAND podemos utilizar: 74HC00, 74HC10, 74HC20, 4011B, 4012B y 4068B. Para las puertas XNOR: 4077B.

El búfer

El último tipo de puerta que encontramos a primera vista podría parecer del todo inútil. Esta puerta se denomina búfer, su símbolo es un simple triángulo y su salida es siempre igual a la señal presente en la entrada. La encontramos en chips como el 74HC17 y sirve para regenerar una señal o para controlar aquellas cargas que podrían de otro modo dañar las lógicas del circuito.
Los búferes de tipo colector abierto (*open collector)*, como los del chip 74LS17, tienen transistores en las salidas y pueden proporcionar hasta 40 mA de corriente.

Tabla 8.5 – Tabla de la verdad para el búfer.

Entrada	Salida
0	0
1	1

Familias lógicas

Existen dos importantes tipologías de circuitos integrados digitales, denominadas también familias lógicas TTL y CMOS. Los chips de la familia TTL (*Transistor-Transistor Logic*) utilizan transistores bipolares y trabajan todos a 5 voltios, mientras que los chips CMOS utilizan pares de MOSFET (*Coupled* MOSFET) y se pueden alimentar con tensiones a partir de 3,3 voltios. Las familias originales con el tiempo se han diversificado con diferentes variantes caracterizadas por distintas velocidades, absorción de potencia o tensión de funcionamiento.
Los chips de la familia TTL se reconocen por la sigla que empieza por 74xx y se remontan a 1960. Aún podríamos encontrar alguno. Con el tiempo han sido sustituidos por nuevas versiones, como la familia 74LSxx. Otras familias son la 74Sxx, la 74Fxx o la 74ALSxx. Las diferencias entre las familias se encuentran en la tecnología, en la mayor o menor presencia de diodos Schottky (S), en la absorción de potencia (L) o en si son particularmente veloces (F = *Fast*). Los chips TTL más utilizados actualmente son los de la serie 74LSxx, que son de tipo colector abierto y se comportan de un modo bastante diferente respecto a los CMOS. Las salidas de estos chips están diseñadas para absorber hasta ocho miliamperios de corriente cuando están en el estado bajo, mientras que en el alto pueden proporcionar muy poca corriente (menos de medio miliamperio). No tendremos ningún problema si conectamos distintos chips entre sí, pero sí si las salidas digitales deben controlar cargas. Veamos un ejemplo de cómo conectar correctamente un led a la salida de uno de estos chips.

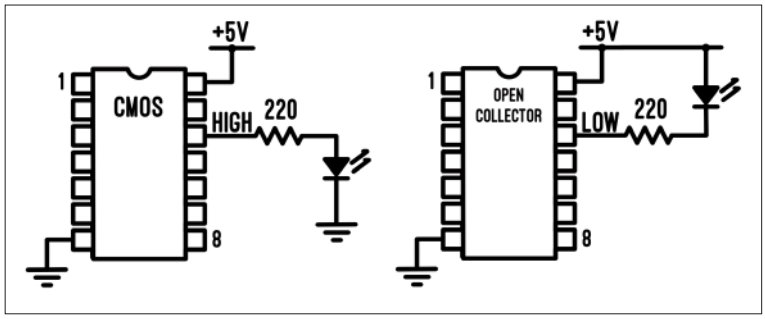


Figura 8.13 – Conexión de un led a un circuito integrado colector abierto y a un circuito CMOS. En el circuito colector abierto el led se enciende cuando la salida es baja.

El led podría encenderse, incluso si lo conectáramos entre el pin de salida y la toma de tierra, pero el modo correcto de conectarlo es entre el pin de salida y la tensión positiva de alimentación. Sin embargo, de este modo el led se encenderá cuando la salida esté en el estado bajo. Esto no es un gran problema, pero probablemente nos obligará a rediseñar las lógicas de nuestro circuito.

Para evitar inestabilidades, las entradas que no se utilizan se conectan a la tensión de alimentación positiva.

Todas estas particularidades no nos animan a utilizar esta familia, pero a veces no tenemos elección porque algunos chips solo están disponibles en esta tecnología.

Los chips de la familia CMOS tienen una sigla que empieza por 40xx (en lugar de xx aparece un número de dos cifras) o la más reciente 40xxB. Algunas familias 74xx utilizan tecnología MOS y, por tanto, conllevan un poco de confusión. Por ejemplo, un 74HC00 es un chip MOSFET. Los chips que más se utilizan actualmente son los de la serie HC. Cuando utilicemos estos chips, no debemos olvidarnos de conectar siempre todas las entradas que no se usan a tierra para evitar comportamientos extraños del circuito. Las salidas del chip pueden, en cambio, suministrar unos cuatro miliamperios cuando están en el nivel alto o absorber otros tantos en el estado bajo. Estas corrientes no son muy elevadas y prácticamente solo valen para encender un led, aunque son más que suficientes si conectamos las salidas de un chip a las entradas de otro. Para conectar cargas, debemos insertar búferes o transistores.

Si utilizamos circuitos integrados digitales, es recomendable utilizar siempre chips de la misma familia. Combinar circuitos integrados de familias distintas, sin tomar las precauciones oportunas, podría generar efectos indeseados. El circuito funcionará, pero podrían ocurrir situaciones poco definidas que presentan comportamientos extraños. Los chips de las distintas familias hablan todos con ceros y unos, pero es como si lo hicieran en dialectos diferentes. Cada familia tiene intervalos de tensión dentro de los cuales los niveles se reconocen como altos o bajos. Un chip TTL identifica una

tensión entre 5 y 3,7 voltios como alto, un CMOS de 5 a 3,5 voltios. Ocurre lo mismo para el nivel bajo, que está comprendido entre 0 y pocas décimas de voltio.

Cada tecnología es capaz de proporcionar o absorber en salida un determinado valor de corriente y esto influye tanto en lo que podemos conectar a la puerta sin dañarla como en el número de puertas que se pueden conectar. Este parámetro se denomina *fan out* e indica el número de puertas que se pueden conectar a la salida de una puerta lógica sin que se dañe. Los primeros chips tenían un *fan out* de diez. Actualmente, se llega con algunas tecnologías incluso a cincuenta.

Estamos acostumbrados a ver la puerta como un sencillo componente individual. En realidad, cada puerta lógica está formada por un grupo de transistores y otros elementos agrupados en un chip. Es un circuito complejo y una señal que llega a la entrada necesita un poco de tiempo para alcanzar la salida. Esto impone limitaciones en la velocidad de las puertas lógicas que se indica con la máxima frecuencia a que pueden trabajar.

Los circuitos digitales son ruidosos. Las numerosas puertas y los distintos dispositivos saltan continuamente. Cada clic genera pequeñas interferencias que pueden provocar falsas señales. Para limitar estos problemas, se recomienda conectar un pequeño condensador denominado de desacoplamiento lo más cerca posible de los pines de alimentación de cada chip. Normalmente se utilizan condensadores de 100 nF.

Para limitar estas interferencias, debemos intentar no dejar nunca pines sin conectar. Si una puerta lógica tiene varias entradas y utilizamos solo algunas de ellas, las que no se utilizan se deben conectar a tierra o a la tensión de alimentación (depende del tipo de chip). Si los dejamos sin conectar, podrían asumir cualquier estado, provocar comportamientos anómalos y producir ruido.

Circuitos combinacionales

Los circuitos compuestos solo por puertas lógicas se denominan combinacionales y su comportamiento se puede describir con una tabla denominada tabla de la verdad. Las señales que se aplican a las entradas se propagan inmediatamente hacia las salidas. En una tabla de la verdad tenemos, a la izquierda, una columna para cada entrada y a la derecha una columna para la salida de la red combinacional. Para calcular la salida se deben enumerar todas las posibles combinaciones de los valores de entrada. El número de filas puede ser muy grande, porque crece exponencialmente con el número de entradas n:

$$\text{filas} = 2^n$$

Con dos entradas tenemos este número de filas:

$$2^2 = 2 \cdot 2 = 4$$

Con tres entradas, las filas se convierten en:

$$2^3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$$

Para cada fila se hacen los cálculos propagando los valores de las entradas a la salida.

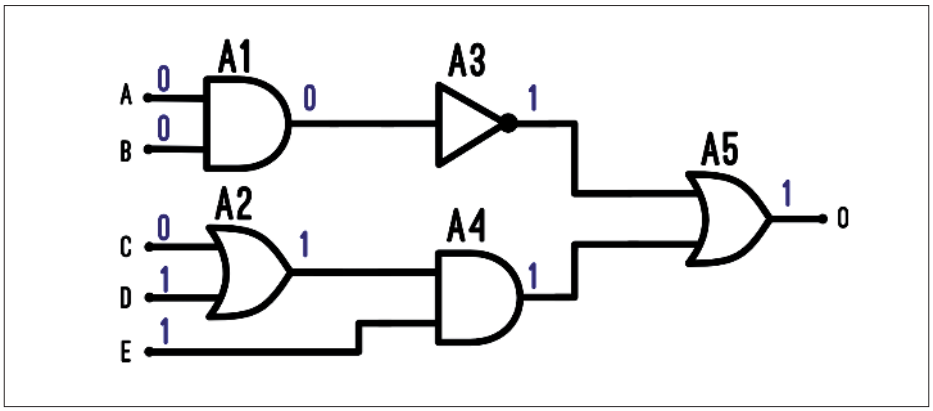


Figura 8.14 – Una red combinacional con cinco entradas y una salida compuesta por puertas lógicas.

Para la red de la figura anterior creamos una tabla con seis columnas; una para cada entrada más una para la salida. Para ayudarnos en los cálculos, añadimos algunas columnas intermedias, una para la salida de cada puerta que denominaremos A1, A2, A3 y A4. Empezamos a calcular las salidas parciales para la primera fila cuando todas las entradas están a cero. En este caso, la salida del circuito es igual a uno. Ejecutamos los cálculos para cada posible combinación de entradas: ¡la tabla tiene treinta y dos filas!

Tabla 8.6 – Tabla de la verdad parcial para el circuito lógico de la figura 8.14.

a	b	c	d	e	A_1	A_2	A_3	A_4	O
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	0	1	1	0	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1

En los circuitos combinacionales, el cálculo es instantáneo. Una vez aplicadas las señales a las entradas, se producirá de inmediato, o tras un breve instante, una señal de salida. Existen unos métodos denominados *Método de Quine-McCluskey* y *Mapas de Karnaugh* que permiten calcular rápidamente y simplificar una red combinacional, reduciendo el número de elementos necesarios.

Convertidores

Una operación frecuente en electrónica digital es la conversión de datos de un formato a otro. Esta tarea puede ser llevada a cabo rápidamente con un convertidor, que no es más que un circuito combinacional con múltiples entradas y múltiples salidas. Un circuito codificador o descodificador (CODER/ENCODER) transforma un grupo de bits en otro. Un circuito de este tipo puede tener tres entradas que se transforman en ocho salidas. Las tres entradas reciben un número binario tipo 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 y lo utilizan para encender una de las ocho salidas posibles. Con un circuito de este tipo podremos controlar hasta ocho salidas usando solo tres cables.

Un convertidor de decimal a binario tiene una decena de entradas que pueden ser activadas una a una y un determinado número de cables de salida. Cada entrada corresponde a un número binario de salida. Con diez entradas tendremos cuatro cables, porque tendremos que contar de cero (0000) a nueve (1001) en binario. Si no hay ninguna entrada a nivel alto, la salida será igual a una serie de ceros. Al activar una entrada, la salida encenderá el correspondiente número binario.

Tabla 8.6 – Tabla de la verdad de un convertidor decimal/binario ideal.

Entrada seleccionada	Salida A	Salida B	Salida C	Salida D
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

El chip 74LS147 es un codificador con diez entradas y cuatro salidas binarias. Es un circuito integrado en tecnología TTL y sus niveles funcionan al revés. Para producir 0000 debemos ajustar todas las entradas a 1. Para producir 0001 debemos tener todas las entradas a 1 excepto la primera, que será 0. Además, las entradas tienen una prioridad: si hubiera a la vez más de una entrada en el estado alto, solo la de mayor peso se consideraría. Si ajustamos a nivel bajo tanto el pin 7 como el pin 2, el segundo será ignorado. En las tablas de la verdad, el hecho de que una entrada pueda asumir cualquier valor se indica con la letra X.

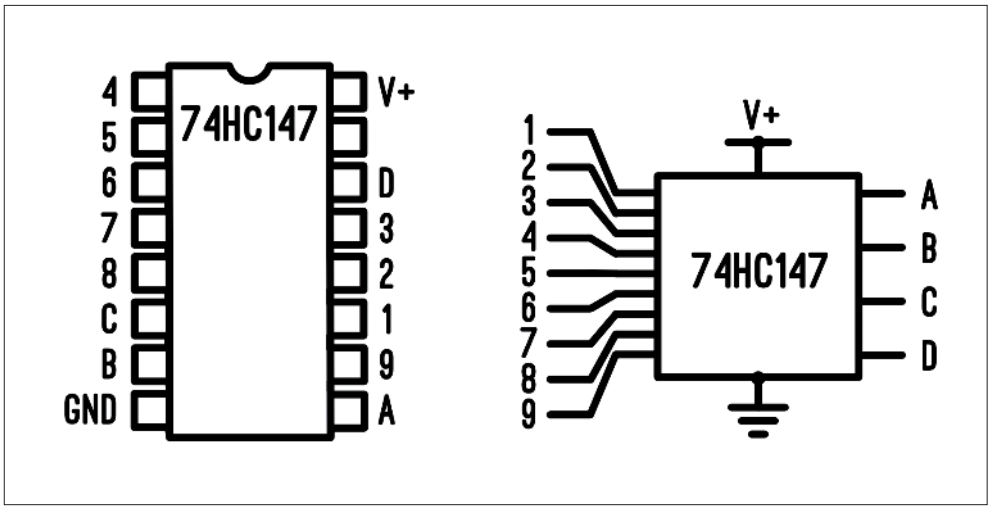


Figura 8.15 – Símbolo circuital del codificador 74LS147.

Tabla 8.7 – Tabla de la verdad del codificador 74LS147.

Entradas									Salidas			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	1	0
X	X	X	X	X	X	X	0	1	0	1	1	1
X	X	X	X	X	X	0	1	1	1	0	0	0
X	X	X	X	X	0	1	1	1	1	0	0	1
X	X	X	X	0	1	1	1	1	1	0	1	0
X	X	X	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
X	X	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
X	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Si necesitamos más entradas, solo tenemos que buscar en cualquier tienda *online*. Se pueden encontrar chips de dieciséis líneas de entrada que después se transforman en cuatro bits de salida.

Un tipo especial de codificador es el que se utiliza para controlar las pantallas a siete segmentos. Tienen cuatro líneas de entrada y siete de salida que se conectan a los siete segmentos de la pantalla. El chip genera las señales necesarias para encender el número correspondiente a los bits ajustados en la entrada. Si en las entradas

ajustamos 0011 en la pantalla de siete segmentos aparecerá el número 3. Un chip de este tipo es, por ejemplo, el 74LS47, que se conecta directamente a las pantallas de led mediante resistencias de 330 Ω.

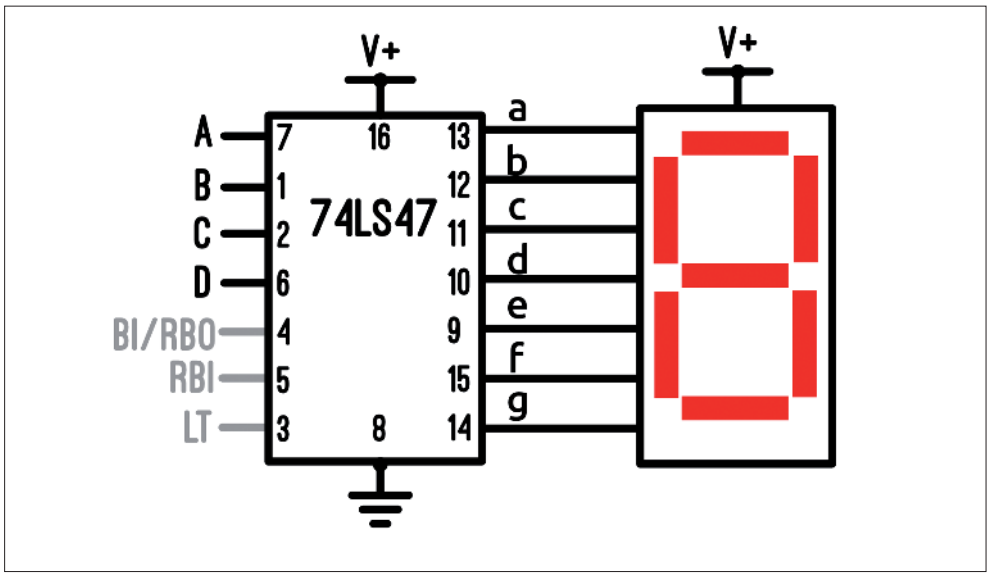


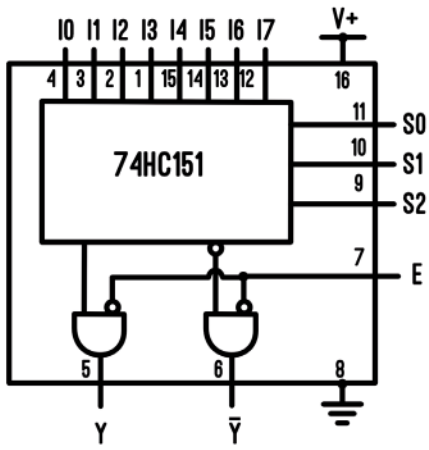
Figura 8.16 – Esquema eléctrico del chip 74LS47 conectado a una pantalla de siete segmentos.

Estos circuitos se pueden utilizar en una única dirección. No podemos aplicar señales en las salidas y esperar a que salgan entradas. Los chips digitales trabajan siempre en un único sentido.

Interruptores lógicos, MUX y DEMUX

En los primeros capítulos pudimos ver cómo funciona un interruptor giratorio. Tiene un eje que puede ser girado para poder conectar un pin central con una serie de contactos normalmente dispuestos en círculo. Al llegar una señal al pin central, esta puede ser desviada a uno de los pines de salida. Podemos hacer el mismo proceso con los circuitos integrados digitales; mediante algunos pines de selección, decidimos cómo ordenar las señales. El multiplexor o MUX tiene varias entradas digitales que pueden conectarse a una línea de salida. El demultiplexor o DEMUX recibe una señal a la entrada que puede ser clasificada en una de las salidas disponibles.

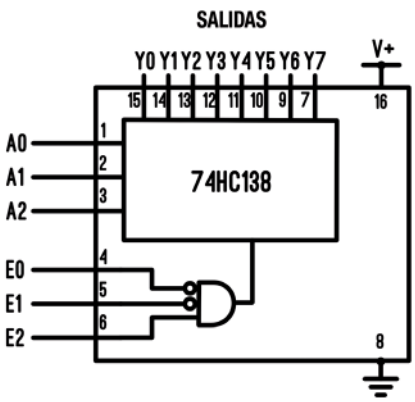
El circuito integrado 74HC151 (o 74LS151) es un multiplexor con ocho entradas, una salida y tres pines para seleccionar el canal de entrada.



ENTRADAS										SALIDAS	
E	S2	S1	S0	I0	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	Y	$\bar{Y}$
H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	L	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	L	H	X	L	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	H	X	H	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	L	X	X	L	X	X	X	X	X	H	L
L	L	H	L	X	X	H	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	H	X	X	X	L	X	X	X	X	H	L
L	L	H	H	X	X	X	H	X	X	X	X	L	H
L	H	L	L	X	X	X	X	L	X	X	X	H	L
L	H	L	L	X	X	X	X	H	X	X	X	L	H
L	H	L	H	X	X	X	X	X	L	X	X	H	L
L	H	L	H	X	X	X	X	X	H	X	X	L	H
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	L	X	H	L
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	H	X	L	H
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H	L
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	H	L	H

Figura 8.17 – Símbolo del chip 74HC151 con la tabla de estados.

El circuito integrado 74HC138 (o 74LS138) es un demultiplexor con una entrada, ocho salidas y tres pines para seleccionar la línea de salida.



ENTRADAS						SALIDAS							
E1	E2	E3	A0	A1	A2	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X											
X	X	L											
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L
			L	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H
			L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H
			L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
			H	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H
			H	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H
			H	H	L	H	L	H	H	H	H	H	H
			H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H

Figura 8.18 – Símbolo del chip 74HC138 con la tabla de estados.

Multiplexor y demultiplexor no pueden ser utilizados de modo bidireccional. Un chip muy útil, que es una excepción a esta regla, es el 4066B, que contiene en su interior cuatro contactos controlados digitalmente. Estos contactos son auténticos interruptores que podemos utilizar para controlar señales analógicas. Los pines de sus interruptores no tienen polaridad y pueden ser utilizados indistintamente en un sentido y en otro. Cada interruptor está controlado por una señal digital: 0 para abrir el contacto y 1 para cerrarlo.

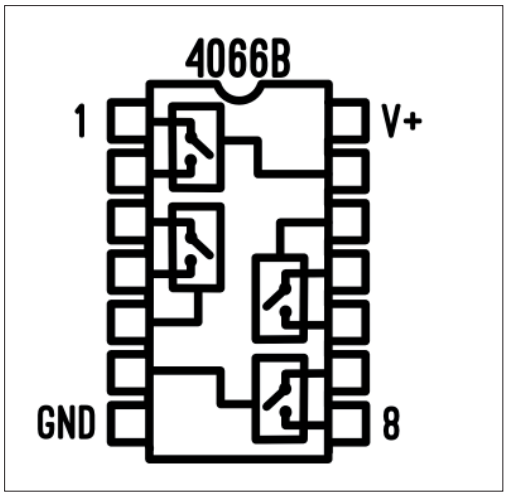


Figura 8.19 – Pinout del chip 4066B.

Circuitos secuenciales

Existe un tipo de circuitos digitales que, para funcionar, requiere una señal de sincronía denominada también de reloj (o *clock*). La información en estos circuitos se elabora en instantes precisos, marcados por el reloj. Por este motivo se denominan secuenciales. En un circuito secuencial, si aplicamos una señala a la entrada, veremos una variación a la salida solo tras uno o más golpes de reloj. Este tipo de circuitos permite memorizar información temporal.

Generadores de reloj

El reloj es una de las señales más importantes para un circuito secuencial porque sirve para sincronizar todas las operaciones. Esta señal no es más que una onda cuadrada que puede tener una frecuencia de cientos de kHz o de algún MHz. ¿Cómo podemos generar una señal de reloj? El modo más sencillo es utilizando puertas lógicas. Combinando dos puertas NOT con dos resistencias y un condensador podemos construir

un generador de onda cuadrada. Este tipo de generadores se definen como *astables*, porque no tienen un estado de reposo, sino que pasan continuamente de un estado a otro creando una onda cuadrada.

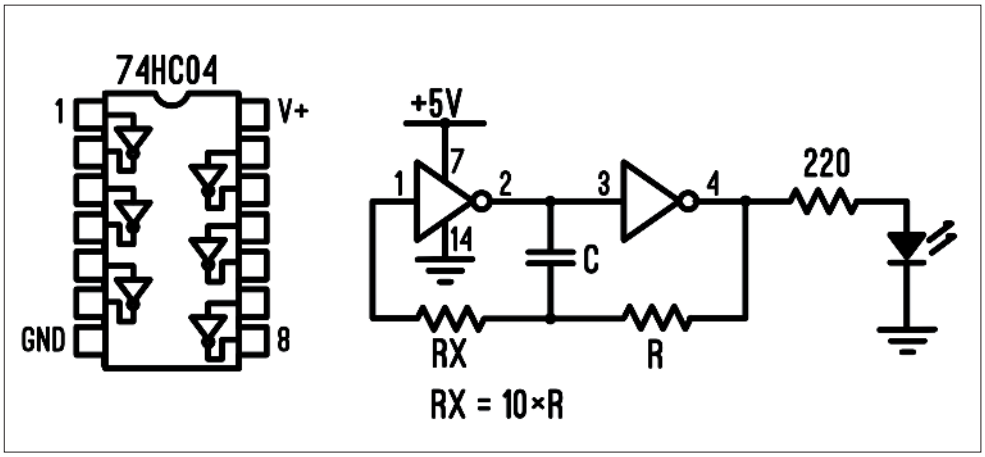


Figura 8.20 – Esquema eléctrico de un generador de reloj que utiliza dos puertas NOT de un chip 74HC04.

El circuito teórico requiere solo una resistencia R y un condensador C. Las puertas NOT están conectadas en serie, de manera que la salida de una esté conectada a la corriente de la otra. La salida de la segunda puerta está conectada a la resistencia y al condensador y se vuelve a conectar con la entrada de la primera puerta.

Supongamos que partimos de una situación en la cual a la entrada de la primera puerta tenemos un nivel bajo. A la entrada de la segunda puerta tenemos una señal alta y, por tanto, su salida está a nivel bajo. De este modo, el condensador C se carga y la tensión que llega a la entrada de la primera puerta NOT sube lentamente, hasta que alcanza el valor de umbral y la puerta NOT la reconoce como un nivel alto. Los niveles saltan y a la entrada de la segunda puerta tenemos un nivel bajo. Esto hace que se descargue el condensador C y que disminuya poco a poco la tensión hasta que las puertas se reconfiguran y vuelven a la situación inicial. El procedimiento se repite y a la salida de la segunda puerta NOT podemos identificar una onda cuadrada. En el circuito real debemos añadir una resistencia entre el condensador y la entrada de la primera puerta NOT. La resistencia normalmente tiene un valor igual a diez veces la resistencia R y sirve para evitar que la puerta quede dañada.

La frecuencia de oscilación se puede obtener mediante cálculos no demasiado sencillos que llevan a la siguiente fórmula:

$$f = \frac{1}{R \cdot C}$$

Las frecuencias de reloj son muy elevadas, pero podemos ralentizar nuestro oscilador hasta hacer parpadear un led. Utilizamos una resistencia de 100 kΩ y un condensador de 10 µF. La frecuencia será de unos 0,72 Hz. Este circuito es muy sensible a las condiciones ambientales de funcionamiento porque utiliza componentes cuyos valores dependen mucho de la temperatura. Si modificamos la tensión de alimentación, la frecuencia también podría cambiar.

Vamos a intentar construir un oscilador. El esquema eléctrico del circuito que realizaremos se muestra en la figura 8.20. Estas son las piezas que necesitamos:

- una placa de pruebas;
- un circuito integrado 74HC04 con seis puertas NOT en tecnología CMOS;
- un led rojo;
- una resistencia de 220 Ω;
- una resistencia de 100 kΩ;
- una resistencia de 1 MΩ;
- un condensador de 10 µF;
- un condensador de 0,1 µF;
- un alimentador a 5 voltios;
- *jumper*s o cables para realizar las conexiones.

En el esquema hemos separado el chip y, en lugar de dibujarlo como un rectángulo genérico, hemos dibujado las puertas NOT solas. Para simplificar el montaje, en los esquemas eléctricos sobre las puertas lógicas hemos dado a cada elemento un nombre del tipo U1a, U1b, U1c, U1d, etc. Las conexiones para la alimentación a tierra se indican sobre solo una de las puertas.

Empecemos con el montaje del circuito:

1. Juntamos los raíles sobre los bordes de la placa para tener alimentación en ambos lados.
2. Insertamos el chip en el centro de la placa de pruebas.
3. Conectamos el pin 14 del 74HC04 al raíl de alimentación rojo a 5 voltios.
4. El pin 7 del 74HC04 se conecta al raíl (azul) a 0 V (GND).
5. Añadimos la resistencia de 1 MΩ y la de 100 kΩ. Las resistencias deben tener un terminal en común. Comprobamos que la resistencia de 1 MΩ tenga un terminal en el pin número 1 del chip y que la de 100 kΩ esté en el pin 4.
6. Con un *jumper*, juntamos los pines 2 y 3 del chip.

7. El condensador de 10 µF va conectado entre el pin 3 y la columna en la cual se unen las dos resistencias.
8. Añadimos la resistencia de 220 Ω y el led. La resistencia está conectada al pin 4 del chip.
9. Con un *jumper* llevamos el cátodo del led a tierra.
10. Añadimos el condensador de *bypass* sobre los dos raíles de alimentación.
11. Alimentamos el circuito a 5 voltios para que el led parpadee.

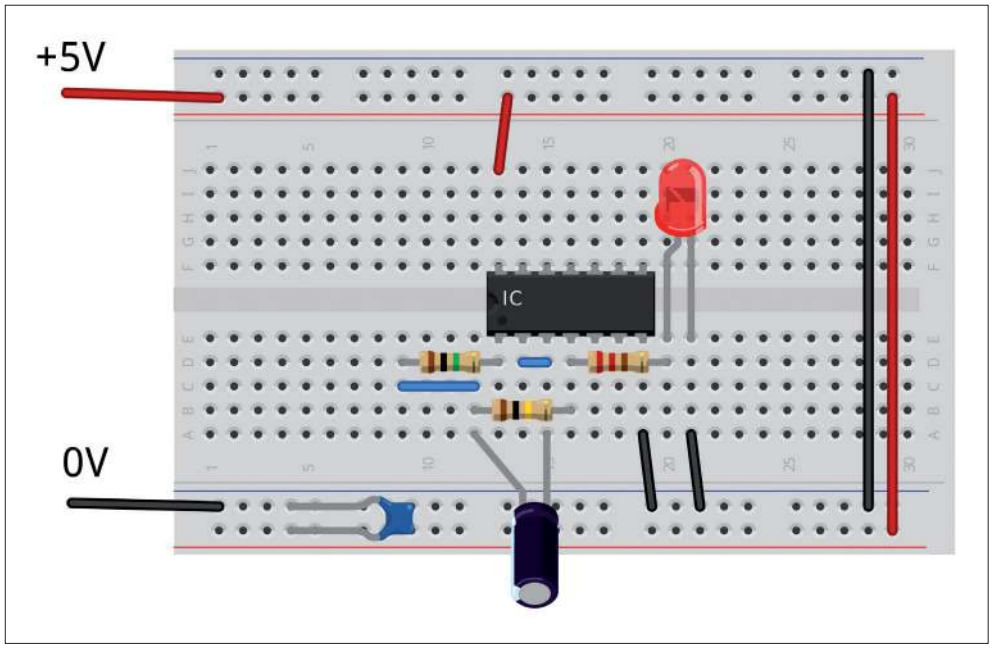


Figura 8.21 – El oscilador de puertas NOT creado sobre una placa de pruebas.

Para construir un oscilador con frecuencias elevadas y estables, se utiliza una variante de este circuito que usa un cristal de cuarzo en lugar de resistencias y condensadores. El cristal de cuarzo oscila de manera muy precisa y su frecuencia no depende tanto de la temperatura. La frecuencia de oscilación del circuito depende solo de la frecuencia del cuarzo. Con un cuarzo de 16 MHz, el circuito oscilará exactamente a 16 MHz. El cuarzo va acompañado de dos pequeños condensadores cerámicos con un valor de pocas decenas de picofaradios (normalmente 20 o 18 pF). El valor de estos condensadores depende del cuarzo utilizado y se puede consultar en las hojas de especificaciones.

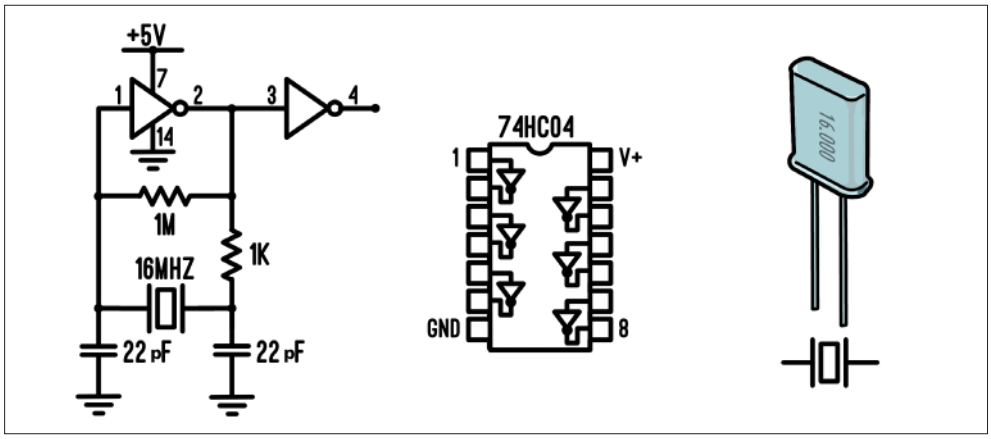


Figura 8.22 – Oscilador de onda cuadrada con cristal de cuarzo.

Biestables

Si conectamos dos puertas NAND o dos NOR, de manera que las salidas estén conectadas a las entradas, podemos memorizar un bit. De este modo, acabamos de realizar una simple celda de memoria, denominada *biestable* (en inglés, *flip-flop*.) Un biestable es el ejemplo más sencillo de circuito secuencial, aunque en esta configuración base no se utiliza ningún reloj. Las entradas de un biestable se indican con las letras R (RESET) y S (SET) y tienen una salida Q. El biestable también se puede representar con un simple rectángulo sobre el cual se indican las entradas S y R y la salida Q. Las memorias como las de ordenador no están fabricadas con biestables, sino que utilizan tecnologías especiales con las cuales se pueden almacenar enormes cantidades de bits en poco espacio y de forma eficiente.

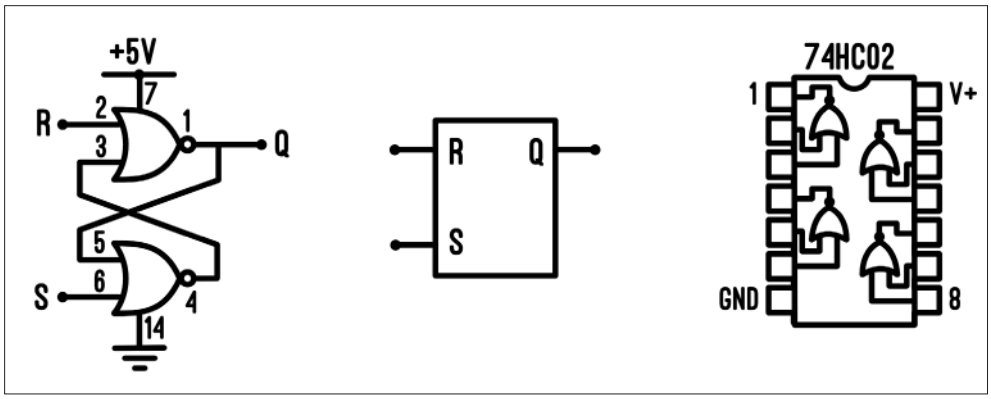


Figura 8.23 – Un biestable con dos puertas NOR (74HC02) y su símbolo.

Analicemos el funcionamiento de nuestra pequeña celda de memoria:

- Aplicamos un cero a ambas entradas S y R.
- Ignoramos el estado de la salida Q, por lo que suponemos que sea de nivel alto.
- La salida Q está conectada a la entrada de la puerta inferior, que tendrá, en sus entradas un nivel alto y uno bajo.
- En la salida de la puerta inferior obtendremos una señal alta que se propagará hasta una de las dos entradas de la puerta superior.
- En la puerta superior tendremos las dos entradas a nivel bajo, por lo que su salida será alta (y esto confirma nuestra hipótesis inicial).

Ahora intentemos mantener S y R a nivel bajo y supongamos que en Q hay un cero:

- Aplicamos un cero a S y a R.
- Ignoramos el estado de la salida Q, por lo que suponemos que sea de nivel bajo.
- Propagamos la señal de la salida Q hasta la puerta inferior, que tendrá sus dos entradas a cero y, por tanto, la salida estará a nivel alto.
- Propagamos el uno, presente en la salida de la puerta inferior a la entrada de la puerta superior.
- Las entradas de la puerta superior valen cero y uno y, por tanto, la salida Q estará a cero (y esto confirma nuestra hipótesis).

Ajustando R y S a cero, el biestable mantiene el valor ajustado y nos dice que está en modo HOLD. Para configurar la salida Q a nivel alto, se debe poner el pin SET a uno. Para restablecer la salida, se muestra el RESET. En el caso en que tanto SET como RESET estén a nivel alto, la salida seguirá variando y sin un valor estable: debemos evitar esta situación.

Tabla 8.8 – Funcionamiento de un biestable.

SET	RESET	Q
0	0	HOLD
1	0	1
0	1	0
1	1	INDETERMINADO

Un biestable realmente secuencial debería recibir también un reloj. Podemos modificar el circuito de la figura 8.23 añadiendo otras dos puertas AND controladas

por la señal de reloj. Así, los comandos SET y RESET podrán alcanzar el biestable solo cuando el reloj esté a nivel alto.

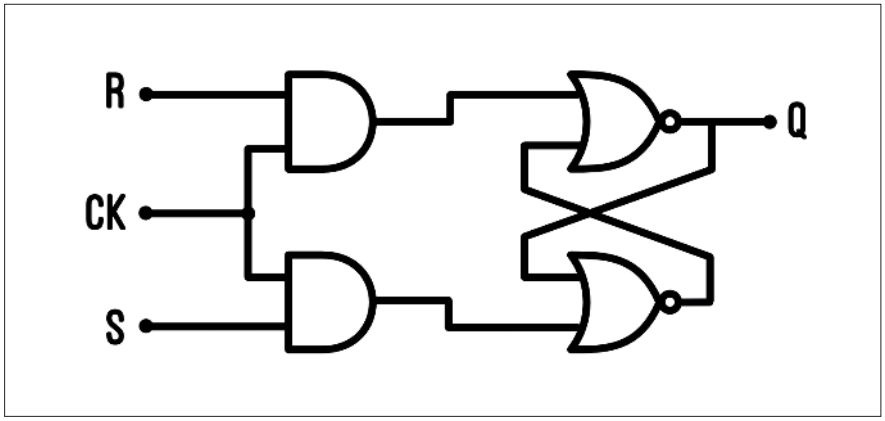


Figura 8.24 – Un biestable RS con señal de reloj.

Existen otras variantes de biestables denominadas *Maestro-Esclavo* (en inglés, *Master-Slave*), *tipo D* y *tipo J-K*. Los biestables se pueden utilizar para mantener o recordar el estado de una entrada o de una salida. Imaginemos que estamos trabajando con una señal variable, como la pulsación de un simple botón que queremos que sea pulsado solo una vez. Lo podríamos solucionar todo con un poco de *software* y un microcontrolador, o bien utilizando un biestable que detecta la pulsación del botón y guarda el estado, para que el microcontrolador sepa que ha sido pulsado. Podemos utilizar biestables para construir un sistema de alarmas, de manera que, en cuanto un sensor detecta algo, el estado de la señal se mantenga hasta que sea necesario. Podemos conectar un pulsador a Arduino mediante un biestable. Durante la configuración del sketch resetearemos el biestable para que esté preparado para detectar la pulsación del botón. Cuando se produzca esta pulsación, la señal de SET pasa a estado alto y el biestable memoriza 1, que Arduino interpreta hasta que no se resetea el biestable enviando un 1 al Reset.

Los biestables se pueden utilizar como circuitos antirrebote, para anular los rebotes de los pulsadores. Es necesario utilizar un desviador en lugar de un simple pulsador. Con el desviador, siempre está activa una y solo una de las entradas: o solo R o solo S. Mientras el desviador pasa de un estado a otro, pueden producirse rebotes, que el biestable ignora porque R y E están a 0 y el dispositivo está en HOLD.

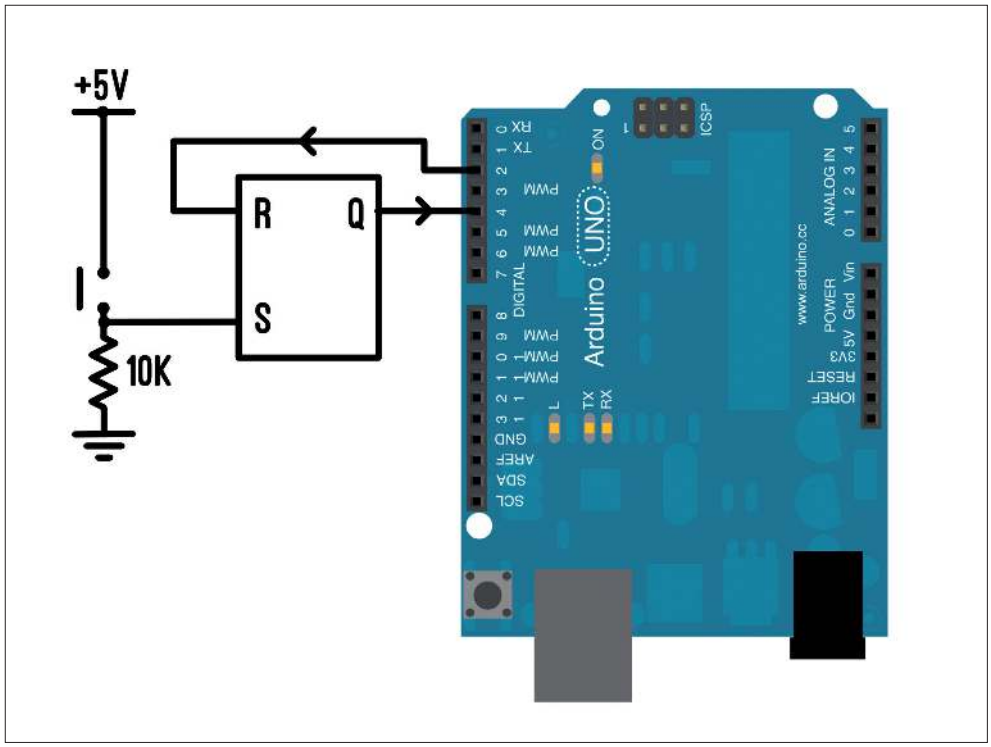


Figura 8.25 – Un biestable RS memoriza las señales entrantes hasta que Arduino las interpreta y resetea el estado.

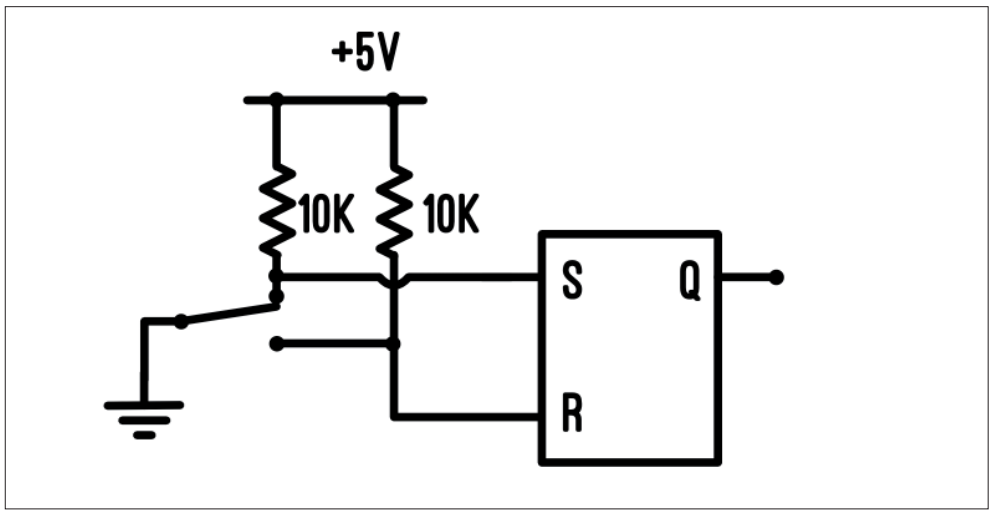


Figura 8.26 – Un biestable RS utilizado como *hardware* para un pulsador.

Si el biestable está fabricado con puertas NAND, tiene el mismo comportamiento, aunque con los estados invertidos. El chip 74HC279 contiene cuatro biestables RS con puertas NAND.

Tabla 8.9 – Funcionamiento de un biestable con puertas NAND.

SET	RESET	Q
1	1	HOLD
0	1	1
1	0	0
0	0	INDETERMINADO

Registros

Con los biestables se pueden fabricar registros, es decir, dispositivos capaces de memorizar un grupo de bits. Cada registro contiene un determinado número de biestables; un registro de ocho bits contendrá ocho biestables. Los registros se distinguen por el tipo de entrada y de salida, que pueden ser seriales o paralelas. Una línea serial está formada por un único cable sobre el cual transmitiremos todos los bits a la vez. Las líneas paralelas son más veloces, pero emplean un mayor número de cables. Así, existen cuatro tipos de registro:

- SISO – Serial Input/Serial Output;
- SIPO – Serial Input/Parallel Output;
- PISO – Parallel Input/Serial OutPut;
- PIPO – Parallel Input/Parallel Output.

Los registros trabajan todos con una señal de reloj que sincroniza las operaciones. Cuando tenemos una entrada o una salida serial, los datos se cargan bit a bit en cada impulso del reloj. Los registros PIPO o SISO parecen inútiles, pero se utilizan como líneas de retardo o para sincronizar una serie de entradas no temporizadas, antes de ser elaboradas por una CPU. Aunque es posible fabricar registros utilizando biestables, y vista su difusión y utilidad, se han desarrollado circuitos integrados que contienen registros completos.

El chip 74HC164 es un registro de desplazamiento (en inglés, *shift register*) de tipo SIPO. Con solo tres líneas podemos controlar ocho señales de salida. Una entrada es para el reloj, otra es el reset y la tercera es la entrada para los datos. Estos circuitos integrados se pueden utilizar para incrementar el número de salidas de un microcontrolador. El registro 74HC164 tiene, en realidad, dos entradas denominadas A y B que están conectadas internamente a una puerta AND. Colocaremos la entrada B fija a

uno y utilizaremos la línea A como entrada serial para los datos. Para cargar los datos debemos presentarlos bit a bit a la entrada y hacer que el reloj dé un paso, es decir, que pase del estado bajo al alto. Los bits presentes en las celdas del registro se desplazarán a cada golpe del reloj. Un bit saldrá por el final de la última fila y un nuevo bit podrá entrar en la primera celda. El reloj es una señal de onda cuadrada que debe estar sincronizada con los datos.

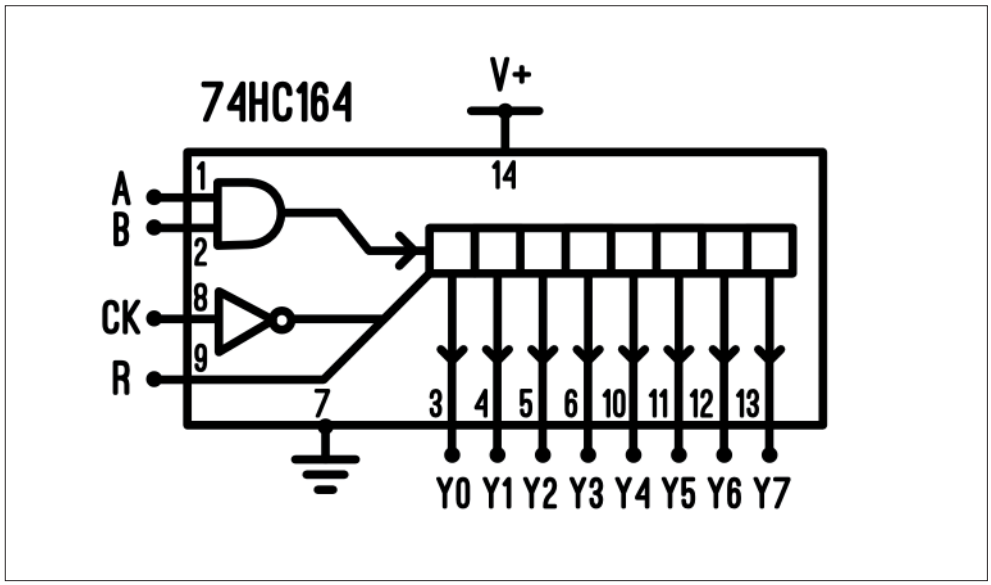


Figura 8.27 – El registro de desplazamiento 74HC164 y esquema de su funcionamiento.

Vamos a conectar un 74HC164 a Arduino para agregar ocho nuevas salidas digitales. Necesitamos los siguientes componentes:

- una placa de pruebas;
- un circuito integrado 74HC164;
- ocho ledes;
- ocho resistencias de 220 Ω;
- un Arduino UNO;
- un condensador de 0,1 µF;
- *jumpers* o cable para realizar las conexiones.

El esquema eléctrico del circuito de prueba del registro de desplazamiento es el siguiente:

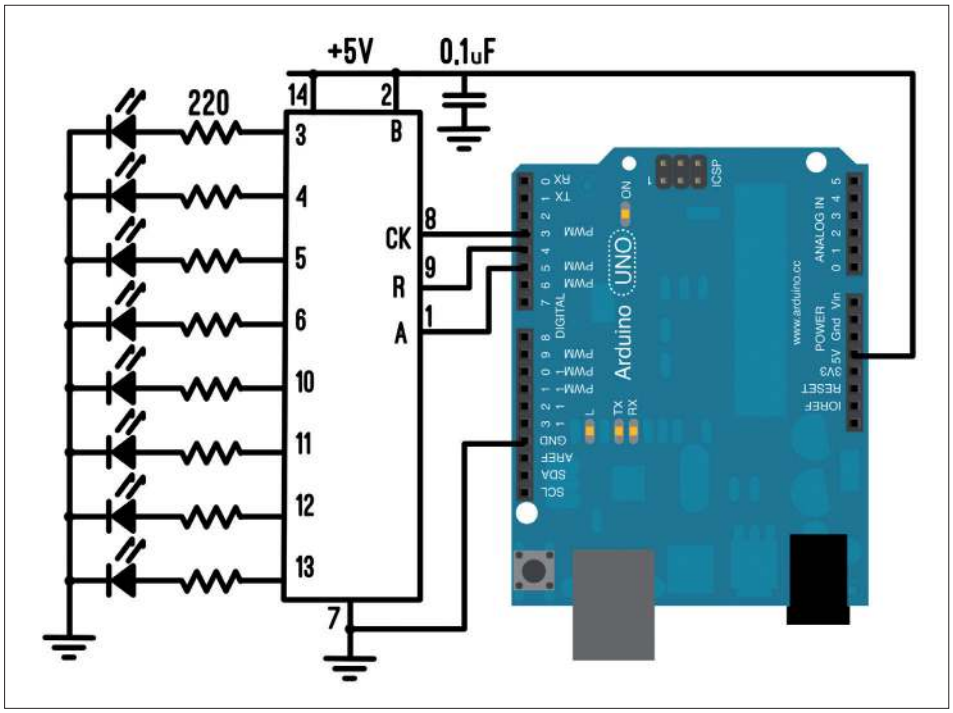


Figura 8.28 – Esquema de conexión del chip 74HC164 a Arduino.

Así es como se procede:

1. Insertamos el chip 74HC164 en el centro de la placa de pruebas.
2. Unimos los raíles laterales de la placa de pruebas para tener la alimentación en ambos lados.
3. Colocamos el condensador de *bypass* de 0,1 µF en los dos raíles, conectado entre 5 voltios y tierra (GND).
4. Conectamos el pin 7 del chip a la tierra y el pin 14 a los 5 V.
5. Insertamos las resistencias de 220 Ω y los ledes, tratando de ser muy ordenados. Empezamos por los pines 3, 4, 5 y 6. Después pasamos al lado opuesto del chip e insertamos el led y las resistencias para los pines 10, 11, 12 y 13. ¡Debemos controlar bien la polaridad del led!
6. Conectamos el pin 2 (entrada B) al raíl de 5 voltios.
7. Unimos con un *jumper* el pin 8 del chip (CLOCK) al pin 3 de Arduino.
8. Unimos con un *jumper* el pin 9 del chip (CLEAR) al pin 4 de Arduino.
9. Unimos con un *jumper* el pin 1 del chip (entrada de datos A) al pin 5 de Arduino.
10. Llevamos los 5 voltios y la masa (GND) de Arduino a los raíles de alimentación de la placa.

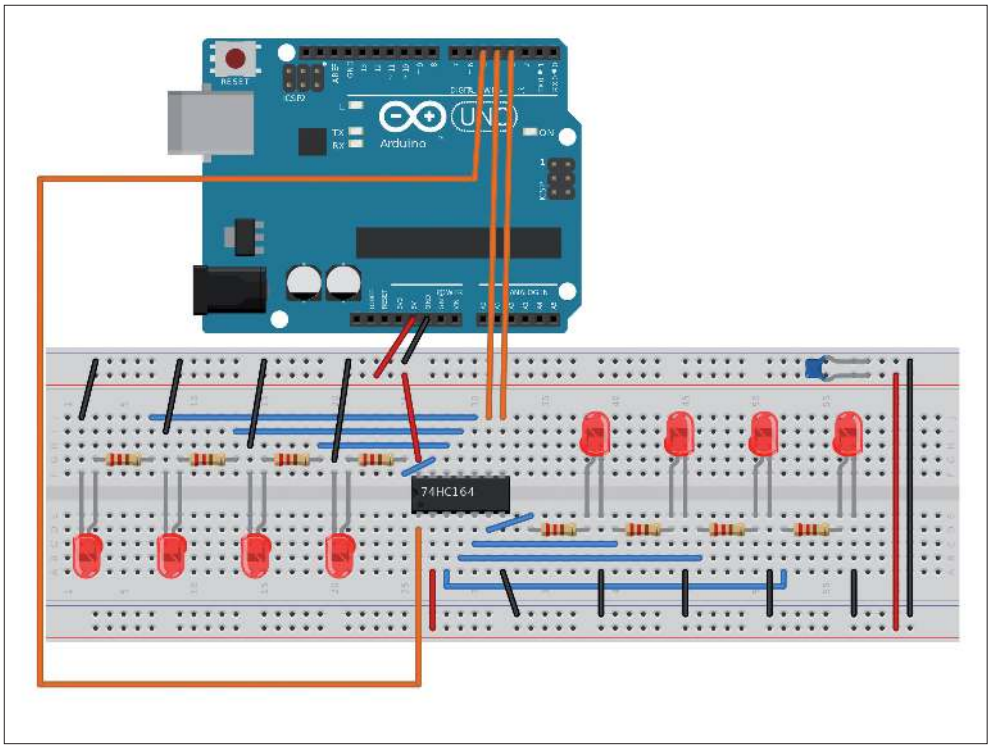


Figura 8.29 – El circuito realizado sobre una placa de pruebas.

11. Preparamos el sketch para Arduino en nuestro ordenador.
12. Conectamos Arduino con el cable USB y transferimos el sketch.

```
void setup() {
    pinMode(3, OUTPUT); //clock
    pinMode(4, OUTPUT); //clear
    pinMode(5, OUTPUT); //datos
    //Enviamos una señal de reset
    digitalWrite(4, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(4, HIGH);

    //preparamos el reloj
    digitalWrite(3, LOW);

    //Cargamos un solo bit de valor 1
    //el reloj sube
    digitalWrite(3, HIGH);
    //transmito el primer bit
    digitalWrite(5, HIGH);
    delay(10);
```

```
    //el reloj baja
    digitalWrite(3, LOW);

}

void loop() {
    //el reloj sube
    digitalWrite(3, HIGH);
    delay(300);
    //transmito solo ceros…
    digitalWrite(5, LOW);
    //el reloj baja y los datos se desplazan
    digitalWrite(3, LOW);
}
```

El sketch primero resetea el chip, después, con un golpe de reloj, carga un primer bit 1. En el bucle no se cargan otros bits, pero el reloj hace desplazarse el único bit que forma parte de la configuración hasta que sale del registro. Los ledes deberían encenderse uno a uno. Para repetir la secuencia, pulsamos el botón RESET de Arduino. El problema de este tipo de circuito es que no se puede ajustar una única salida de forma independiente, sino que debemos cargar los ocho bits en una secuencia, aunque solo tengamos que modificar uno de ellos. A pesar de todo, la carga es muy rápida.

El circuito integrado 74HC165 es un registro PISO, con el cual podremos añadir ocho entradas adicionales para nuestro microcontrolador. El funcionamiento del chip es muy similar al del 74LS164.

Contadores

Los registros pueden ser utilizados como contadores, es decir, circuitos controlados por un reloj que encienden un determinado número de salidas según un orden preestablecido. Algunos contadores activan una línea tras otra, otros ejecutan recuentos binarios tipo 000, 001, 010, 011... hasta 111. Los contadores también son módulos bastante comunes y no es necesario construirlos partiendo de simples biestables. Además del reloj, estos chips tienen pines para el RESET, para modificar la dirección del recuento y para interrumpirlo. Los contadores decimales tienen diez pines de salida que se encienden en una secuencia, mientras que los contadores binarios tienen normalmente tres o cuatro pines y también se pueden combinar entre ellos para contar números más elevados (por ejemplo, ocho bits).

El circuito 4017B es un contador decimal. Le basta una señal de reloj para activar en secuencia sus diez líneas de salida. Para que empiece el recuento se deben mantener el RESET y el ENABLE en el estado bajo.

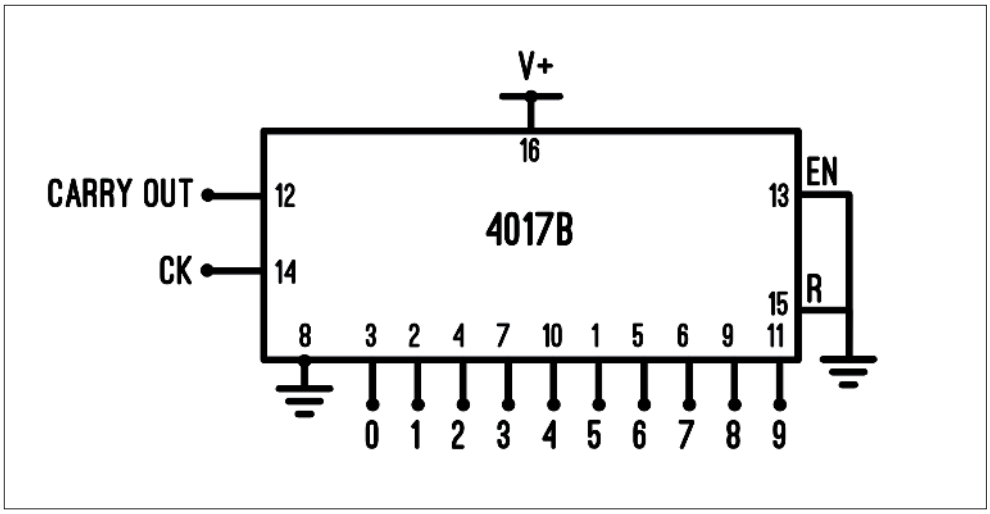


Figura 8.30 – Esquema eléctrico de uso del 4017B y su pinout.

Un circuito integrado con un comportamiento similar al 4017B es el 74HC160, un contador de cuatro bits. En sus cuatro salidas podemos obtener un recuento binario del tipo 0000, 0001, 0010, 0011, etc.

Convertidores analógico-digitales y digital-analógicos

En ocasiones, necesitamos pasar del mundo digital al analógico. La mejor manera de hacerlo es utilizar unos chips que transforman señales analógicas en una serie de bits o viceversa y que se conocen como muestreadores. Las señales analógicas son mucho más ricas en información que las señales de tipo digital, porque al pasar de un mundo al otro se pierden detalles. Por ese motivo, los amantes de la alta fidelidad aprecian tanto los discos de vinilo, en los cuales la música está registrada y reproducida completamente de forma analógica.

El paso de analógico a digital requiere antes que nada la creación de muestras. La señal original se mide a intervalos regulares o a una determinada frecuencia denominada de muestreo. Cada muestra después se convierte en un número digital, es decir, en una serie de bits. Se producen dos grandes pérdidas: la primera relacionada con la frecuencia de muestreo, porque todo lo que hay entre una muestra y otra lo echamos fuera, y la segunda debida al redondeo del nivel de la muestra. Si la muestra vale 4,4536 V, se simplificará, por ejemplo, a 4,5 V, perdiendo algu-

na información. Esta operación se denomina cuantificación. La granularidad de la cuantificación depende del número de bits en que se convertirá la muestra. Estas pérdidas se consideran aceptables, la información perdida es mínima y, respetando ciertos límites, existe la garantía de poder reconstruir una señal analógica de manera casi indistinguible a la original. Para tener pérdidas mínimas, se intenta tener una frecuencia de muestreo al menos igual que el doble de la máxima frecuencia de la señal que queremos muestrear. La música llega como máximo a 22 kHz, razón por la cual los muestreadores para señales de audio tienen una frecuencia de muestreo de 44 kHz. Para determinar el error que presenta la cuantificación de niveles, debemos considerar el máximo número de niveles y la máxima tensión de salida. Si la señal producida tiene ocho bits, el máximo número de niveles será igual a 2^8 y, por tanto, a 256. Si la señal va de 0 a 5 voltios, el mínimo intervalo, correspondiente a 1 bit, se dará desde 5 voltios/256 = 0,02 voltios.

Los bits de las muestras convertidas pueden ser identificados por el convertidor en secuencia o todos juntos. De este modo tendremos una salida paralela o serial de bits. Los convertidores que utilizan 12 o 16 bits normalmente tienen salidas seriales para los datos. De no ser así, necesitaríamos un gran número de pines para identificar los datos.

Para convertir una señal de digital a analógica, se utilizan redes resistivas activadas por los bits de la muestra y filtros paso bajo para reconstruir la señal original. Los chips más sencillos para principiantes son aquellos que utilizan entradas o salidas de tipo paralelo; tienen ocho líneas correspondientes a la muestra convertida. Si el número de bits aumenta (12, 16 o 32), se deben utilizar a la fuerza puertas seriales, en las cuales se insertan o extraen los bits uno a uno. Un chip ADC de 8 bits con salidas paralelas es, por ejemplo, el ADC0804. Uno de sus correspondientes DAC podría ser el DAC0800, con ocho entradas paralelas y una única salida analógica.

Trabajar con distintos niveles lógicos

¿Cómo podemos conectar un acelerómetro o un lector de tarjetas SD que trabajan a 3,3 V a Arduino o a chips alimentados a 5 V? Afortunadamente, la mayor parte de las líneas digitales trabaja en una única dirección: las salidas son siempre salidas y no se comportan alternativamente también como entradas. Los diseñadores se han inventado distintas soluciones. Lo más sencillo, que funciona solo cuando debemos pasar de 5 a 3,3 V, es utilizar un divisor de tensión.

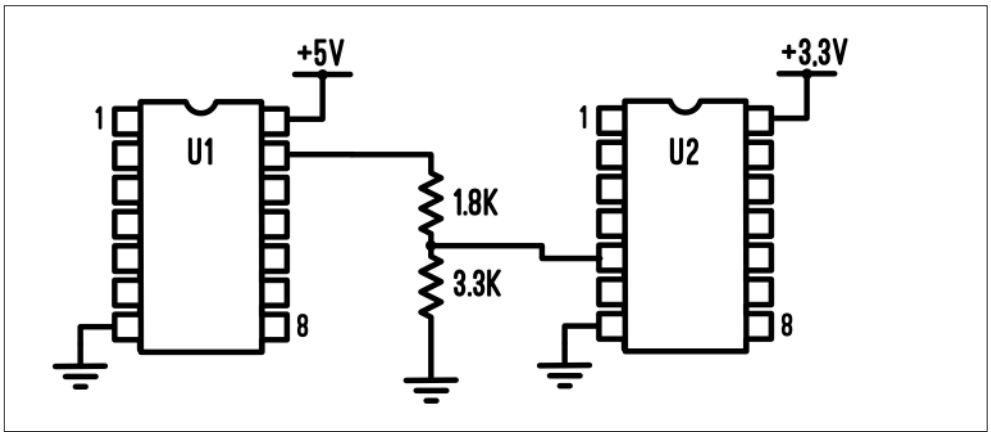


Figura 8.31 – Conexión de chips con salida a 5 V con un dispositivo a 3,3 V mediante un divisor de tensión.

Si la salida del pin microcontrolador es alta, el divisor dividirá los 5 voltios para que se reduzcan a 3,3 V. Con 5 voltios podemos utilizar una resistencia de 3,3 kΩ y una de 6,5 kΩ. La resistencia total del divisor es de unos 10 kΩ y la corriente vale medio miliamperio. Cuando la salida del pin está a nivel alto, en la resistencia de 6,5 kΩ tenemos unos 3,3 V. Cuando la salida está a nivel bajo, es decir, a 0 voltios, no circulará corriente; el divisor también estará a 0 voltios. Otro problema de los divisores es que su efecto puede verse influenciado por lo que le conectamos y, por ello, podría tener comportamientos indeseados.

Una solución muy ingeniosa es una que se lleva a cabo con un transistor MOSFET como el 2N7000. Si lo conectamos como se muestra en el esquema siguiente, conseguiremos una interfaz bidireccional que puede ser conectada entre un circuito a 5 V y uno a 3,3 V. El circuito es obra de Herman Schutte, de Philips Semiconductors Systems Laboratory Eindhoven (http://www.nxp.com/documents/application_note/an97055.pdf).

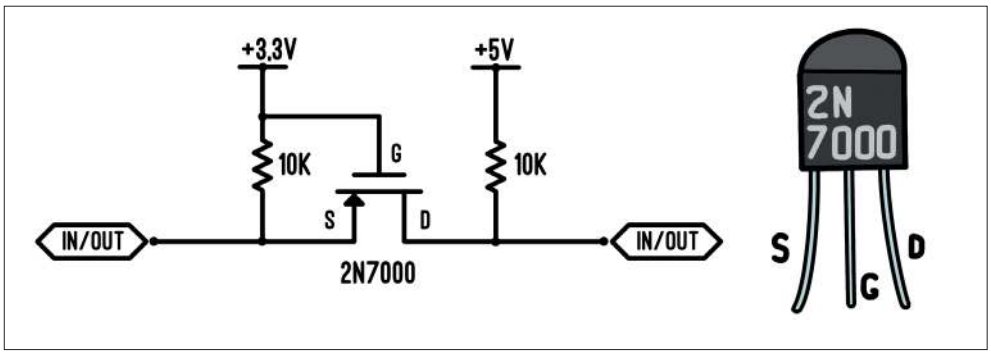


Figura 8.32 – Interfaz bidireccional a 5 V y 3,3 V con MOSFET 2N7000.

Cuando el lado a 3,3 V está en el estado alto, la V_{GS} es igual a 0, el MOSFET está apagado y es como si no estuviera. En el lado derecho vemos 5 V a través de la resistencia R_2. Si en el lado a 3,3 V tenemos una señal baja, el MOSFET está encendido y el lado derecho ve los 0 V aplicados al lado izquierdo.

Cuando aplicamos una señal baja al lado a 5 V, el MOSFET se enciende y también en el lado izquierdo tenemos 0 V. Si aplicamos un 1, la fuente del MOSFET, y por tanto el lado izquierdo, sube hasta 3,3 V y el transistor está apagado.

Si hay muchas líneas que necesitan una conversión de nivel, probablemente sería mejor utilizar un circuito integrado que puede trabajar sobre más señales. Dos chips muy utilizados son el 74HC245 y el 74HC4050.

El 74HC4050 es realmente un cambiador de nivel (*level shifter*, en inglés). Lo podemos alimentar con una tensión máxima de 7 V, pero sus entradas pueden soportar hasta 15 V. ¡Las entradas no son bidireccionales! Podemos por tanto utilizarlo para conectar Arduino, que trabaja a 5 V, y una placa SD alimentada a 3,3 V alimentando el chip a 3,3 V. Si a la entrada de uno de sus búferes llegan 5 V, a la salida tendremos 3,3 V.

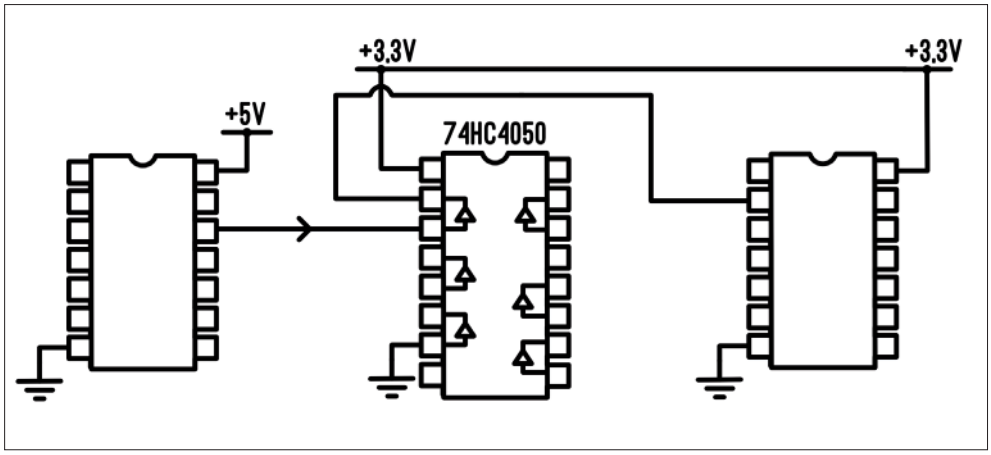


Figura 8.33 – Esquema eléctrico de uso del 74HC4050. El chip está alimentado a 3,3 V y recibe en entrada señales a 5 V que se reducen a 3,3 V.

9

Microcontroladores

Desde hace unos años, el número de CPU ya supera el número de habitantes del planeta: una invasión silenciosa. Los microcontroladores se utilizan en cualquier sitio. Son pequeños ordenadores capaces de ejecutar *software* e interactuar con el *hardware*. Tiempo atrás era muy difícil programarlos, pero hoy en día basta con un cable USB para ejecutar el *software* en un circuito integrado más pequeño que una moneda de un céntimo.

Los ordenadores ya se han convertido en objetos de uso común y son muchos los que, a grandes rasgos, conocen los principios de su funcionamiento. En su interior hay un microprocesador (la CPU), la memoria y los discos. Para interactuar con estas máquinas utilizamos el ratón, el teclado y una pantalla. Los ordenadores modernos, cuando se encienden, leen un programa principal, denominado *sistema operativo*, que proporciona los servicios principales y permite que otros programas funcionen. Los ordenadores se pueden modificar añadiendo memoria RAM, nuevos discos e incluso cambiando determinadas placas que están en su interior.

Un microcontrolador (MCU) es un pequeño ordenador completamente contenido en un chip. Tiene una CPU, una RAM y otros tipos de memoria que utiliza como disco. Para comunicarse con el mundo exterior utiliza pines por los cuales transitan señales eléctricas. La CPU de un microcontrolador es obviamente muy sencilla y menos veloz que

la de un ordenador de sobremesa. La mayoría de los microcontroladores tienen una velocidad de algunos MHz, mientras que para los ordenadores hablamos de GHz. El chip de Arduino, el ATMEGA328, es un microcontrolador que funciona a dieciséis MHz.
En los ordenadores de sobremesa y portátiles, desde hace tiempo, el tamaño de la memoria es de algún gigabyte. Las dimensiones de la memoria de un microcontrolador se miden en kilobytes y nos llevan atrás en el tiempo, cuando algunos de nosotros estábamos satisfechos de tener un ordenador de sesenta y cuatro kilobytes. En los microcontroladores podemos encontrar tres tipos de memoria:

- RAM – tiene el tamaño de algunos kilobytes y se utiliza para memorizar información temporal, que desaparece cuando el chip no está alimentado.
- Flash – tiene tamaños que van desde algunos bytes hasta incluso algún megabyte. Se utiliza como disco para guardar los programas que leerá la CPU. Normalmente es de solo lectura y puede ser escrita solo en fase de programación.
- EEPROM – sus dimensiones van de unos pocos bytes a algunos kilobytes y puede almacenar datos durante mucho tiempo, incluso si el chip está apagado.

Los microcontroladores son lentos, pero van bien porque consumen poca corriente y cuestan muy poco. Actualmente, la informática se utiliza en todos sitios: tenemos chips con un coste irrisorio que ejecutan programas en nuestros relojes, en los teléfonos, en los coches, en las casas, en los electrodomésticos, etc. La mayoría de los dispositivos electrónicos contiene un microcontrolador que elabora datos y *software*, no solo simples placas con un transistor.

Arquitectura

La arquitectura de los microprocesadores describe la organización interna del chip, es decir, qué memorias, registros y otros recursos están disponibles y cómo están conectados entre sí. Tiempo atrás, microprocesadores y microcontroladores se programaban solo en código máquina, escribiendo byte a byte instrucciones que correspondían a operaciones elementales como leer un dato de la memoria o ciparlo en un registro. Para hacer una división de dos cifras, por ejemplo, era necesario escribir un programa de decenas de líneas. Por ese motivo, los desarrolladores empezaron a crear instrucciones cada vez más complejas, intentando simplificar la vida de los programadores. Un chip con un conjunto de instrucciones de este tipo tiene numerosas operaciones especializadas y se denomina CISC, siglas de *Complex Instruction Set Computer*. Estos chips tienen un alto coste de diseño y de elaboración y grandes dimensiones. Con el tiempo se dieron cuenta de que estas instrucciones complejas apenas se utilizaban y que, en ocasiones, llevar a cabo la misma operación en más pasos y con comandos básicos resultaba más rápido. Por ese motivo, se diseñaron nuevos chips en los cuales se

redujo al mínimo imprescindible el conjunto de instrucciones y se denominaron RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Los procesadores RISC más conocidos son los PIC, los AVR, los ARM o los SPARC. Los ARM (siglas de *Advanced RISC Machine*) son chips muy utilizados en la fabricación de teléfonos, tabletas y dispositivos portátiles porque son de bajo consumo y tienen óptimas prestaciones.

Hacia los años noventa del siglo pasado, ATMEL y MicroChip presentaron los primeros circuitos integrados reprogramables eléctricamente. Antes de eso, para reprogramar un microcontrolador era necesario exponerlo a rayos UV y después utilizar un circuito programador especial, normalmente muy caro. Esta novedad, junto a la posibilidad de utilizar lenguajes de programación de alto nivel, como el C, en lugar de código máquina, facilitó la difusión de los microcontroladores.

Los microcontroladores modernos tienen la posibilidad de memorizar un pequeño programa, denominado *bootloader* o gestor de arranque, que reside en un área de la memoria protegida para que no pueda ser sobrescrito accidentalmente. El gestor de arranque es un programa especial que tiene el poder de poder escribir también en la memoria flash del chip. De este modo, no se necesita un programador especialmente complicado, sino una simple puerta serial que transfiera el *software* que hemos escrito de nuestro PC al chip. Los circuitos para la programación se encuentran dentro del mismo controlador y el gestor de arranque que se ocupa de la escritura de nuestro programa en la memoria interna.

Uso de los microprocesadores

Antes de empezar un proyecto con un microcontrolador debemos elegir el modelo más adecuado. La elección no es fácil; existen decenas de fabricantes, cada uno con cientos de productos. Debemos valorar cuántas entradas y salidas necesitaremos, la potencia, la velocidad y la disponibilidad de memoria.

Preparamos nuestro entorno de trabajo instalando los controladores, paquetes de desarrollo y compiladores. La mayor parte de los productos están disponibles solo para Windows, cosa que también puede influir en nuestra elección. Además de los entornos de desarrollo oficiales, en ocasiones existen alternativas válidas de código abierto.

La secuencia de operaciones que debemos seguir para programar un microcontrolador es simple:

- escribimos un programa en C o en otro lenguaje;
- compilamos el programa de una forma comprensible para el microcontrolador;
- transferimos el programa compilado al chip.

Los programas para microcontroladores se denominan *firmware* y normalmente se escriben en lenguaje C. El programa, escrito en un archivo de texto, es interpretado por

un *software* denominado compilador que lo transforma en una serie de bits comprensibles para el microcontrolador. El *firmware* se transfiere a la memoria flash situada dentro del microcontrolador mediante un programador. La memoria flash es lo mismo que un lápiz USB o que una tarjeta de memoria SD, solo que está dentro del chip.
Cada fabricante de chips, además de vender circuitos integrados, comercializa también kits de desarrollo que contienen un programador, el *software* y placas o tarjetas de desarrollo, que no son más que placas electrónicas sobre las que se ha montado un microcontrolador especial. Las placas de desarrollo están dotadas de conectores de entrada y salida, puertos USB, tomas de red, ledes, pulsadores y pantalla, así como del *hardware* necesario para testear el chip sin tener que diseñar y montar los circuitos.
Un buen sitio donde encontrar múltiples placas de código abierto, programadores y accesorios es Olimex (http://www.olimex.com). En Olimex encontraremos también las instrucciones para instalar un entorno de programación completamente de código abierto que utiliza el famoso entorno de desarrollo integrado Eclipse (IDE).
Los microcontroladores más conocidos entre los *makers* son los AVR de ATMEL. La familia AVR ofrece muchísimas posibilidades, desde pequeños chips de seis pines hasta los ATmega, con una cincuentena de entradas/salidas. Para programarlos, se utilizan lápices USB especiales, siendo también posible convertir Arduino en un programador.
Otra familia de microcontroladores muy conocida es la de los PIC de Microchip. Para programarlos, se puede utilizar el programador pickit3 y el IDE Mplabx. El compilador de Microchip requiere licencia. Podemos utilizarlo gratuitamente, pero el optimizador está desactivado y el *firmware* que produzcamos ocupará mucho más espacio.
Los productores ofrecen también microcontroladores con tecnología ARM. Para programar estos chips podemos utilizar soluciones de código abierto, así como el programador ULINK2 de Keil, una empresa que produce componentes de *hardware* y *software*, además de placas de desarrollo para los mayores fabricantes de chips ARM.

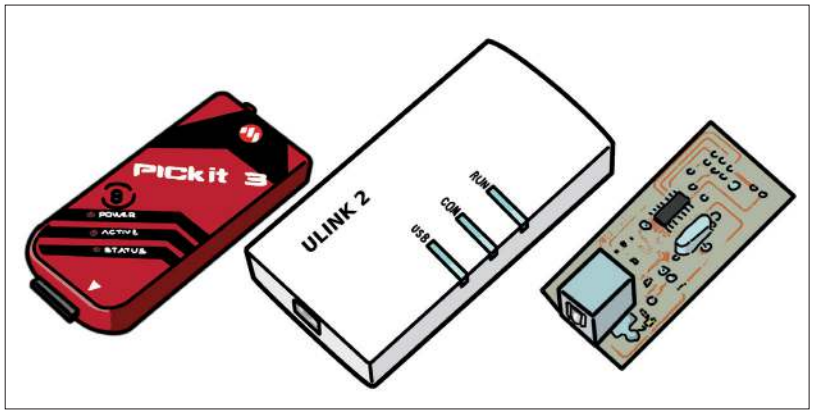


Figura 9.1 – Un programador para PIC Pickit3, un ULink para ARM y una FABIsp autofabricada.

Si utilizamos estos kits y estas placas de desarrollo, se necesita un poco de paciencia porque a veces las cosas pueden ser complicadas. El código se escribe en C, que no es un lenguaje sencillo, y los entornos de desarrollo pueden ser bastante complicados. Las opciones y las funciones son muchas y no siempre lo bastante claras. Debemos perder el tiempo para documentarnos leyendo manuales y hojas de especificaciones y, llegados a este punto, la pasión podría transformarse en trabajo.
Arduino ha abierto el camino, demostrando que las cosas pueden ser muy sencillas. Para utilizar Arduino, basta con instalar un editor de textos que contiene un compilador y el programa que se ocupa de la transferencia a Arduino. El programador externo se ha eliminado, utilizando un pequeño programa instalado como gestor de arranque sobre el chip. La placa se conecta directamente al mismo ordenador con un simple cable USB. Esta ha sido una idea muy sencilla pero muy potente desde el punto de vista de la usabilidad y de la simplificación del sistema, que ha facilitado la difusión de la placa incluso entre personas no expertas en electrónica y programación.

Kit de desarrollo

Estas son algunas de las plataformas de desarrollo más conocidas.

Arduino

Arduino es una de las placas con microcontrolador más popular. Nació en Ivrea, en 2005, en el Interaction Design Institute, que pocos años antes ya había vivido la experiencia de Wiring, una plataforma similar pero quizás un poco adelantada a sus tiempos y mucho más cara. La placa Arduino UNO tiene catorce puertas digitales, que pueden ser configuradas como entradas o salidas, seis entradas analógicas y algunos pines que se pueden utilizar para generar señales PWM. La placa ha tenido varias versiones: la primera se llamaba *diecimila*, seguida de la 2009 y después, la UNO con el chip ATMega328 producido por ATMEL.
Arduino es un *hardware* de código abierto. El proyecto de la placa no es secreto y lo puede utilizar cualquiera libremente. Esta apertura, además de la simplificación del lenguaje de programación y la eliminación del programador, ha hecho que se difundiera rápidamente entre los *makers*. Arduino es modular; existen múltiples placas, denominadas *shields*, que se apilan unas sobre otras y añaden funciones completas, como wifi, Ethernet, registrador de datos, control motor, pantalla LCD, Bluetooth, etc. La fuerza de la plataforma es la simplicidad, tanto que incluso aquellos que no tienen experiencia en la electrónica pueden fabricar por sí mismos circuitos electrónicos muy sofisticados. Con el tiempo, la gama de Arduino se ha extendido,

añadiendo placas cada vez más potentes, como la Arduino MEGA, la Arduino DUE, dotada de un microcontrolador ARM, y la placa Galileo, con chip Intel.

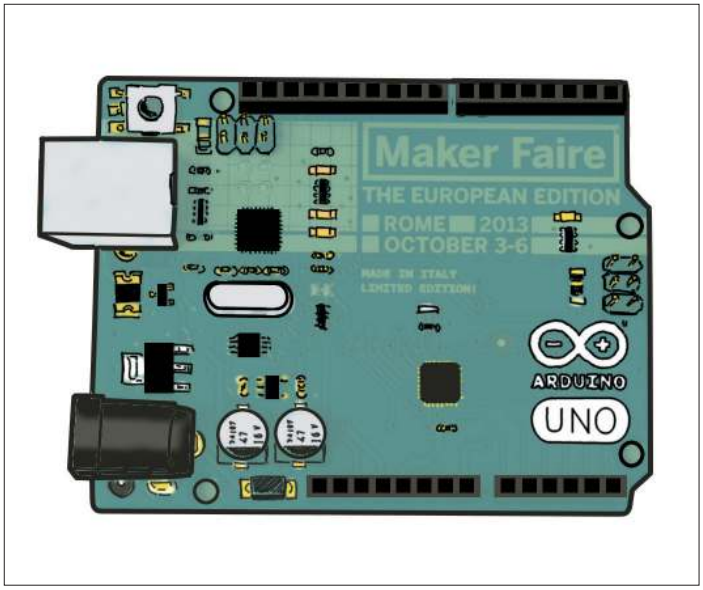


Figura 9.2 – La placa Arduino UNO.

El *firmware* se escribe utilizando un entorno de desarrollo derivado de los proyectos Processing y Wiring. Se escribe un código, denominado *sketch*, se conecta la placa al ordenador con un cable USB y se transfiere todo con un clic. En torno a la placa Arduino gravita un foro y una comunidad muy activa. En el foro se encuentran innumerables ejemplos y la respuesta a cualquier duda. Arduino ya hace años que existe y se ha conectado a todo tipo de *hardware*, sensores y actuadores; con una búsqueda en Google o en el foro encontramos rápidamente el esquema de conexión que necesitaremos y el fragmento de código necesario para que funcione. Copiar y pegar está permitido y es recomendable.

Wiring

En 2003 Hernando Barragan, en el Interaction Design Institute de Ivrea, ideó una plataforma innovadora para el uso de microcontroladores que denominó Wiring. Barragan se propuso simplificar el uso de los microcontroladores y hacer que artistas y diseñadores los conocieran y utilizaran en sus creaciones para hacerlas interactivas. Diseñó un circuito impreso sobre el cual insertó un pequeño chip ATMEL: el ATMega128. Para programar un Wiring, Barragan modificó el proyecto Processing, un entorno de programación para el lenguaje Java, haciendo que se comunicara con

su placa mediante un simple cable USB. La programación del microcontrolador es sencilla e inmediata. Una vez escrito el programa, basta con pulsar el botón para transferir el *firmware* a Wiring. El IDE contiene muchos ejemplos y funciones útiles para conectar y controlar una gran variedad de sensores y actuadores. Con el tiempo se han lanzado distintas versiones de la placa con diferentes características y potencias. Wiring, en un futuro, podría extenderse hasta chips más pequeños como los ATtiny u otros chips con arquitectura ARM. El proyecto es de código abierto en todas sus partes, tanto *hardware* como *software*.

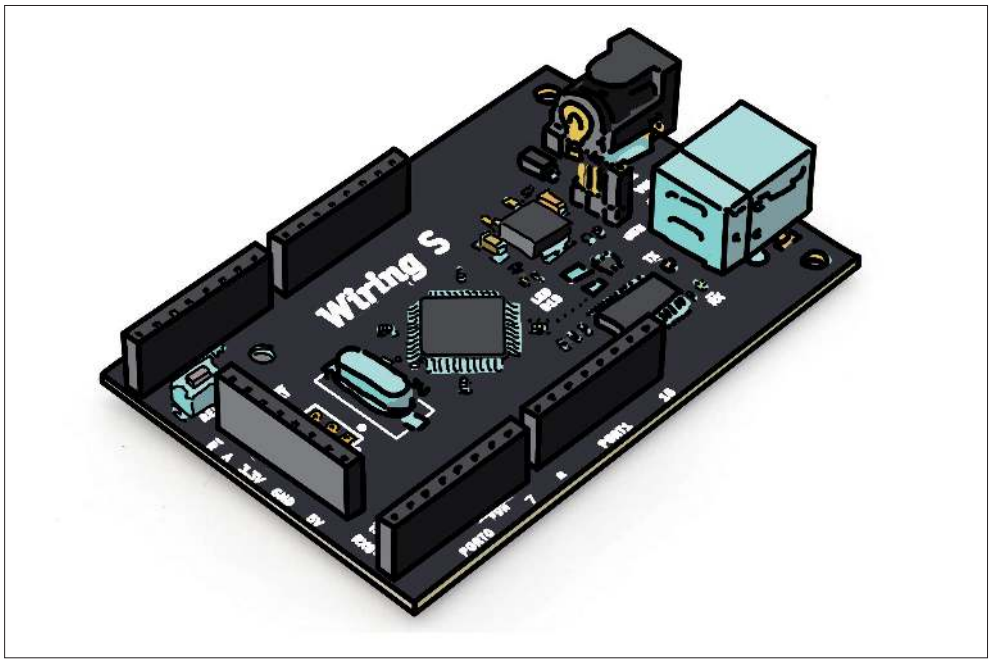


Figura 9.3 – La placa Wiring.

OpenPicus

El FlyPort es una placa de prototipado producida por la empresa OpenPicus de Roma. El FlyPort utiliza un microcontrolador de Microchip sobre el cual se ejecuta el sistema operativo FreeRTOS. Los FlyPort se programan con un simple cable USB y un entorno de desarrollo simplificado. Estas placas son muy potentes y pueden también hospedar un servidor web. Para la programación se utiliza el lenguaje C. La plataforma es soportada por una wiki y una activa comunidad. OpenPicus también lanza *hardware* y *software* en código abierto. Desafortunadamente, el entorno de desarrollo solo está disponible para sistemas Windows.

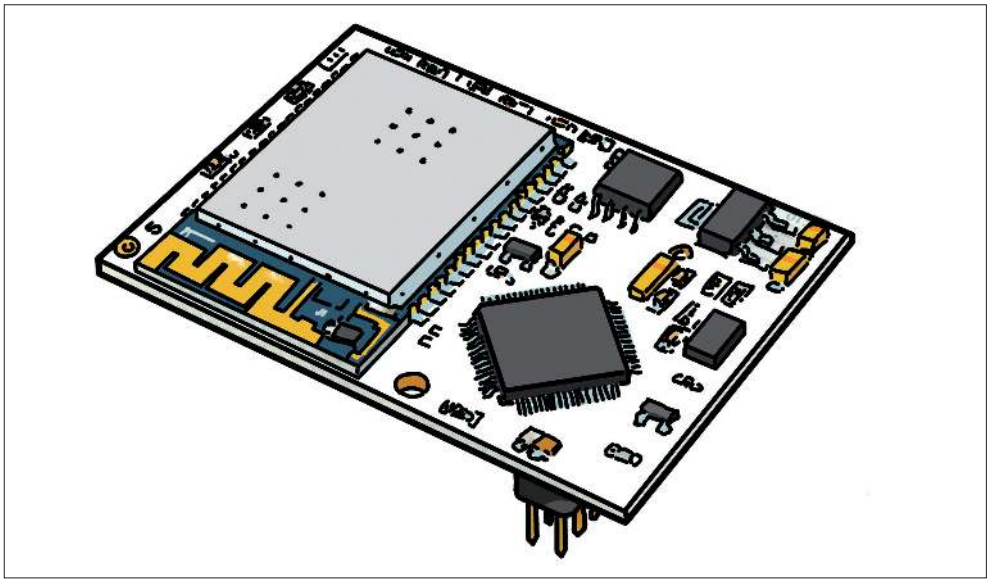


Figura 9.4 – La placa OpenPicus con wifii.

El primer FlyPort tenía un puerto Ethernet para conectarlo a la red. Después de algún tiempo se añadió una placa wifi integrada. Actualmente existen tres variantes: wifi, GPRS y Ethernet. Los precios son razonables y los chips de Microchip tienen óptimas prestaciones. El procesador PIC de 16 bits tiene 256 kB de memoria para el programa, 16 kB de RAM y 16 MB de Flash a disposición del servidor web. Cada FlyPort tiene 18 pines de entrada/salida, 4 entradas analógicas (de 10 bits) y 9 PWM.
La plataforma se puede ampliar con el sistema Grove: una plataforma modular de sensores y actuadores conectados mediante simples cables de cuatro polos, que no requiere intervenciones de soldadura. Incluso los que no son expertos pueden realizar circuitos complejos con simples cableados.

Raspberry Pi

La placa Raspberry Pi es algo distinta a las placas de prototipado que hemos visto hasta ahora. Es un miniordenador creado sobre una placa un poco más grande que una tarjeta de crédito a la cual es posible conectar un monitor, un ratón y un teclado. Nació en 2012 como experimento didáctico y económico para ayudar a las escuelas a acercar a los chicos a la informática y a la programación con costes contenidos. En Raspberry Pi puede cargarse un sistema operativo Linux (Raspbian) con interfaz gráfica en ventanas y un número determinado de programas preinstalados. No tiene disco duro y utiliza una simple tarjeta SD.

La placa tiene una serie de pines configurables como entradas y salidas digitales, lo que ha llamado la atención de *makers* y *hackers* que rápidamente han utilizado Raspberry Pi para realizar proyectos interactivos y conectados a la web. Los pines se pueden controlar en Python, en C y con scripts del sistema operativo. El primer prototipo de Raspberry Pi utilizaba un chip Atmega644 de Atmel, pero ahora utiliza un chip muy potente producido por Broadcom: el BCM2835 con un procesador ARM de 700 MHz, un procesador gráfico (GPU) VideoCoreIV y 256 o 512 MB de memoria. Entre los *softwares* presentes en el sistema operativo encontramos Scratch, desarrollado en el MIT para enseñar a los niños a programar. Con Scratch es fácil crear animaciones, juegos y programas combinando bloques gráficos.

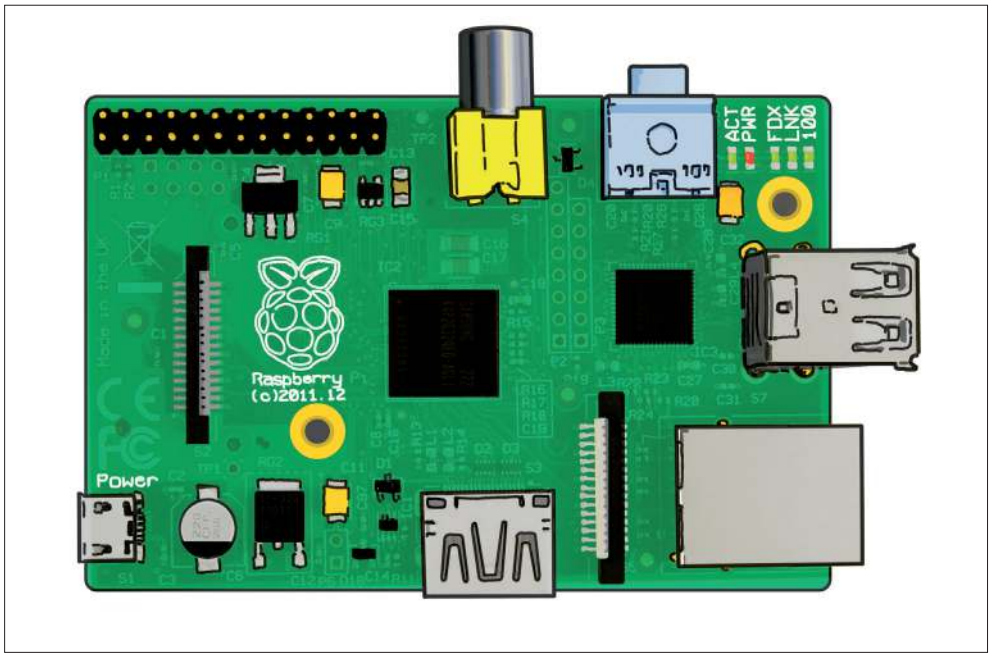


Figura 9.5 – La placa Raspberry Pi.

Para saber más sobre Raspberry Pi os aconsejo el excelente libro *Raspberry Pi – Guida all'uso* (*Raspberry Pi - Guía del usuario*) de Valter Minute, Ed. LSWR.

BeagleBone

La BeagleBone es una placa fabricada por Texas Instruments y distribuida por Digi-Key. BeagleBone también es un miniordenador de código abierto similar a la Raspberry Pi,

dotado de un chip ARM. El último modelo, la BeagleBone Black, utiliza un chip ARM Cortex-A8 de 1 GHz con 2 GB de memoria flash, toma de red y una salida de vídeo HDMI. La placa tiene un sistema operativo GNU/Linux, pero es posible instalar también Ubuntu o Android. Una vez conectada la placa a nuestro PC se puede programar en lenguaje JavaScript directamente desde el navegador, declarando el entorno de desarrollo Cloud9. BeagleBone también soporta el lenguaje Java. El *hardware* se puede ampliar añadiendo placas de expansión denominadas *capes* dotadas de pantalla LCD, puertos seriales, bus de comunicación y sensores de distintos tipos.

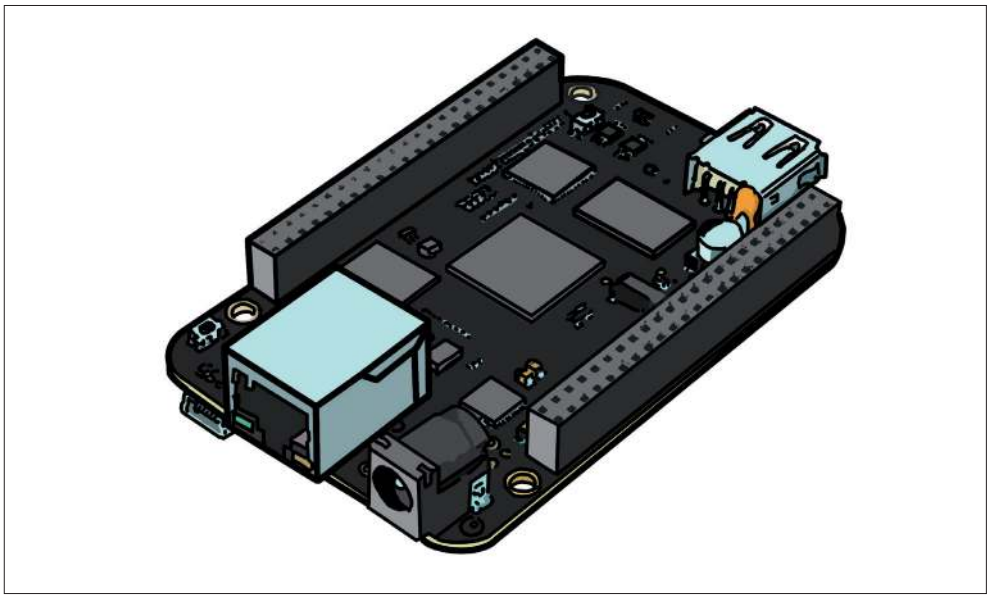


Figura 9.6 – La placa BeagleBone Black.

El ordenador en el zapato: programar un chip AVR

Neil Gershenfeld, el creador de las FabLab, en uno de sus libros explica lo fácil que es añadir capacidad de cálculo a cualquier objeto. Los microcontroladores son tan económicos que podríamos poner uno en cualquier objeto, incluso en un zapato. ¡Algunos chips son tan grandes como un grano de arroz!

Las plataformas de prototipado que hemos descrito son rápidas pero caras. Son óptimas para hacer pruebas y construir prototipos, pero no son indicadas para realizar cosas económicas. Una vez adquirida un poco de familiaridad con estos sistemas, es fácil y natural utilizar solo los chips en lugar de una placa de desarrollo.

El camino más sencillo es seguramente el que empieza con Arduino. Los chips ATMEL son sencillos de programar y es posible hacerlo sin ningún instrumento en particular excepto con la placa Arduino UNO. Los AVR, producidos desde 1996 hasta hoy, son muchos y variados. Están los pequeños ATtiny13, ATtiny85, ATtiny45, ATtiny2313 (que disponen también de un puerto serie), hasta los más potentes ATmega328, ATmega644, ATmega1284 y ATmega2560.
Para programar los chips AVR se debe utilizar un programador ISP, es decir, *In-System Programming*, que significa que no es necesario extraer el microprocesador del circuito en el cual está insertado para poderlo programar. Esta posibilidad permite ahorrar mucho tiempo durante la producción industrial. Los chips que soportan el ISP tienen en su interior los circuitos necesarios para llevar a cabo las operaciones de escritura y eliminación del *firmware*. De este modo, el programador puede ser muy sencillo y económico. Podemos reprogramar estos microcontroladores unas decenas de miles de veces.

Tabla 9.1 – Características de algunos chips AVR.

AVR	Pin	Flash (kB)	RAM (B)	EEPROM (B)	Frecuencia máx. (MHz)
ATtiny25	8	2	128	128	20
ATtiny45	8	4	256	256	20
ATtiny85	8	8	512	512	20
ATtiny2313	20	2	128	128	20
ATmega328	32	32	2048	1024	20
ATmega644P	40	64	4096	2048	20
ATmega2560	100	256	8192	4096	20

La solución más económica para programar los AVR es utilizar Arduino como programador ISP. En los ejemplos que se proporcionan con Arduino hay un sketch llamado ArduinoISP. Si lo cargamos en Arduino, es posible transformarlo en un programador para los chips AVR ¡prácticamente sin ningún coste!
En el FabLab del MIT se ha desarrollado un proyecto de código abierto, denominado FabISP, para construir un programador ISP. Las instrucciones para fabricarlo se pueden encontrar en el sitio web del MIT (http://bit.ly/makefabisp). FabISP utiliza un chip ATtiny44, tiene un conector USB para conectarlo al ordenador y seis contactos a los que se conecta el chip que hay que programar. Para construir un FabISP se necesita un FabISP u otro programador para AVR. Desafortunadamente no se puede utilizar ArduinoISP porque no soporta algunas operaciones necesarias para configu-

rar el ATtiny44. Si no conocemos a nadie que pueda ayudarnos, podemos comprar una versión comercial derivada del proyecto FabISP por poco más de diez euros. Por último, tendremos que pensar también en comprar el kit de desarrollo oficial del ATMEL acompañado por el entorno de desarrollo oficial AVR Studio.

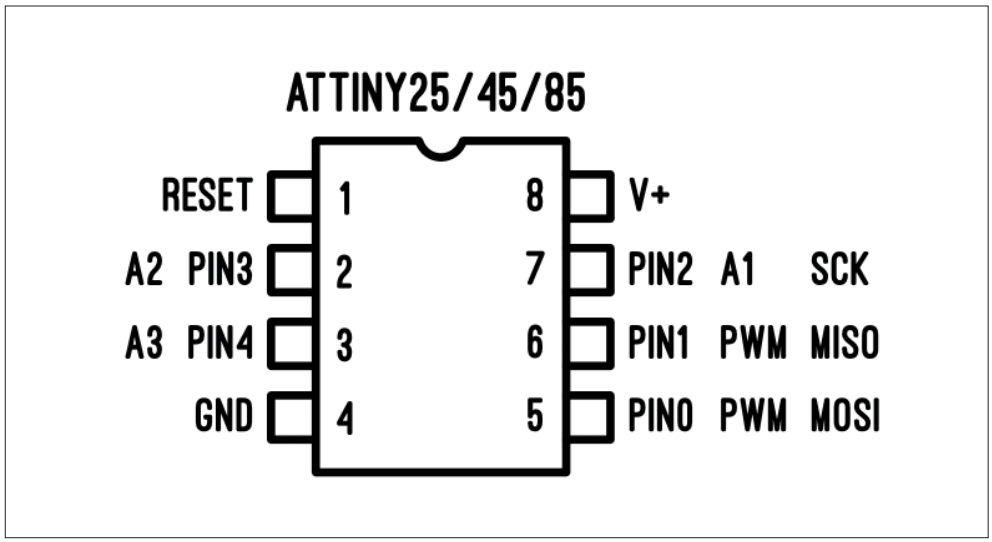


Figura 9.7 – Pinout de los microcontroladores ATtiny85, 45 y 25.

El programador se conecta al chip con cuatro líneas que se llaman MOSI, MISO, SCK (o UCK) y RESET, y las alimentaciones Vcc y GND. Estos pines se comportan como un puerto serie y envían y reciben informaciones con el chip. Las siglas de los pines son acrónimos que significan:

- MISO – Master In Serial Out;
- MOSI – Master Out Serial In;
- SCK – es la señal de temporización para la comunicación;
- RESET – activa la programación del chip. Cuando está conectado a la tensión de alimentación, el chip puede ejecutar el programa.

Cada microcontrolador, además de sus memorias internas (RAM, EEPROM y Flash), tiene algunos bytes reservados (denominados también registros) que sirven para configurar su comportamiento. Estos registros se denominan *fuses* y se pueden modificar al gusto con el programador ISP. Para escribir los fuses se utilizan programas como avr-dude (en terminal) o WinAVR para plataforma Windows.

Los fuses son secuencias de bits que se pueden calcular siguiendo las instrucciones contenidas en las hojas de especificaciones o bien utilizando una calculadora online como fusecalc (http://www.engbedded.com/fusecalc/).
Los AVR tienen tres bytes dedicados a los fuses. Los principales parámetros son:

- Clock Selection – todas las CPU necesitan un reloj (*clock*) para funcionar. El reloj es una onda cuadrada, regular y precisa que marca el ritmo de las operaciones. El reloj puede proceder de una fuente externa (*External Clock*) o puede ser generado dentro del chip (*Internal Clock*). El reloj interno no es demasiado preciso y su frecuencia podría depender de la tensión de alimentación y de la temperatura. Si la precisión no es fundamental, con el reloj interno nos ahorramos dos pines porque no debemos conectar ningún componente al chip. El reloj interno se puede ajustar a 8 MHz, 4 MHz o 128 kHz. Los ajustes de fábrica prevén un reloj interno a 8 MHz. Si elegimos el reloj externo, debemos conectar un componente adicional, como un cuarzo o un resonador cerámico, que ocupa dos pines. Con un cristal de cuarzo, el reloj puede llegar hasta los 20 MHz.
- Startup time – es el intervalo de tiempo que esperará el chip antes de ejecutar el *fimware*. Es preciso esperar un determinado número de milisegundos antes de que la señal del reloj sea estable y precisa. Es mejor esperar el mayor tiempo posible (14 CK + 65 ms = 14 golpes de reloj y 65 milisegundos).
- Clock Output – la señal de reloj también puede llevarse fuera del chip. Esto resulta útil si queremos sincronizar más chips. Si activamos esta opción (desactivada por defecto), el reloj se ubicará en uno de los pines (el pin D2 para el ATtiny85).
- Clock Divide – si activamos esta opción, la frecuencia de reloj se dividirá entre ocho. Normalmente está activa, por lo que los chips se ejecutan a una velocidad efectiva de 1 MHz.
- Reset Disable – ¡esta opción no se debe seleccionar nunca! Si lo hacemos, el chip ya no se podría volver a programar, porque desactiva el pin RESET y lo transforma en un pin adicional.
- Brown-out Detect (BOD) – es una opción deshabilitada por defecto, que, en cambio, es muy útil porque activa una protección que interviene en el caso en que la tensión de alimentación disminuya y el chip no reciba potencia. En esta situación, el microcontrolador empezará a comportarse de un modo anómalo, leyendo y escribiendo la memoria flash. Si el *brown-out* está activo, cuando la alimentación baja por debajo de un valor determinado, el chip se desactiva hasta que la tensión no es la adecuada. Para un chip alimentado a 5 voltios, la tensión de *brown-out* se puede ajustar a 4,3 voltios.

Programar un ATtiny85

Veamos cómo programar un chip ATtiny utilizando el entorno de desarrollo de Arduino y una placa Arduino UNO como programador ISP. En primer lugar, debemos conseguir un ATtiny85 o 45. Estos chips se pueden adquirir en las grandes tiendas de componentes como RS o Farnell y tienen un precio mínimo respecto a una placa Arduino. De hecho, los ATtiny tienen pocos pines y menor capacidad. El *firmware* que se puede cargar en estos chips no puede ser muy grande porque tenemos un cuarto del espacio disponible en los chips ATmega328. En el caso en que un ATtiny no sea suficiente, también es posible utilizar un chip ATmega.

El ATtiny85 solo tiene ocho pines, de los cuales dos se utilizan para la alimentación y uno para el RESET. Quedan solo cinco pines que podemos utilizar como entradas o salidas digitales. Dos de estos cinco pines pueden generar señales PWM y tres pueden ser usados como entradas analógicas. La tensión de alimentación debe estar comprendida entre 2,7 y 5,5 V. Si se superan los 5,5 V, ¡el chip se quemará! La tabla 9.2 muestra los pines físicos, el número lógico del pin que se utilizará en el sketch y la función del pin.

Tabla 9.2 – Funciones de los pines del ATtiny85.

Pin del chip	Función	Número del pin digital	Número del pin analógico
1	RESET		
2	Digital/Analog Input	3	3
3	Digital/Analog Input	4	2
4	GND		
5	Digital/Analog Input/PWM	0	
6	Digital/Analog Input/PWM	1	
7	Digital/Analog Input/PWM	2	1
8	Vcc (+5 V)		

Para programar el ATtiny85 debemos descargar un parche (*patch* en inglés) para el entorno de desarrollo de Arduino. El procedimiento descrito funciona con la versión 1.0.4 del *software* de Arduino. Debemos evitar utilizar la versión 1.0.2 porque el sketch de Arduino contiene un error.

Para configurar el entorno de programación y cargar el primer ejemplo necesitamos:

- una placa Arduino UNO;
- un chip AVR ATtiny85 de ATMEL;
- un condensador de 10 µF;
- un led;
- una resistencia de 220 Ω;

- una placa de pruebas;
- cables o *jumpers*.

Así es como debemos proceder:

1. Descargamos el archivo con el parche. Este archivo se llama *ATtiny_master.zip* (http://bit.ly/attiny85patch).
2. Descomprimimos el archivo *ATtiny_master.zip*, que contiene una carpeta denominada *attiny-master* en cuyo interior encontramos la carpeta *attiny*.
3. Buscamos la carpeta de trabajo de Arduino, también conocida como *carpeta de sketchs*.
4. Creamos una carpeta *hardware* dentro de *sketchbook* (la carpeta podría estar ya creada).
5. Copiamos la carpeta *attiny* dentro de la carpeta *hardware*.
6. Iniciamos el IDE de Arduino.
7. Comprobamos que las definiciones para los ATtiny se hayan cargado abriendo el menú **Tools** > **Board**. Debería aparecer una larga lista con las siglas de los chips ATtiny.
8. A continuación, transformamos nuestro Arduino UNO en un programador para AVR, abriendo el sketch *Arduino ISP* que encontramos en el menú **File** > **Ejemplos**.
9. Conectamos Arduino al ordenador con un cable USB y comprobamos que el puerto serie está configurado correctamente.
10. Compilamos el sketch y lo transferimos a la placa pulsando el botón **Verify** y después **Upload**.
11. Cargamos el sketch *Blink* incluido en el menú **File** > **Examples**.
12. El sketch hace parpadear un led en el pin 13, pero el ATtiny85 no tiene tantos pines. Modificamos el código y en lugar de 13 escribimos 0, que corresponde al pin número 5 del circuito integrado.

```
//Blink per ATtiny85
//el pin 0 es en realidad el pin número 5 del chip
void setup() {
  pinMode(0, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(0, HIGH); // enciendo el led
  delay(1000);           // espero un segundo
  digitalWrite(0, LOW);  // apago el led
  delay(1000);           // espero un segundo y repito el bucle
}
```

13. Abrimos el menú **Tools** > **Board** y seleccionamos **ATtiny85 (internal 8 MHz clock)**.
14. Insertamos el ATtiny85 en la placa de pruebas y conectamos los pines 10, 11, 12 y 13 de Arduino al ATtiny.
15. Conectamos también el GND y 5V al ATtiny para suministrarle la alimentación.
16. Insertamos un condensador de 10 µF en los pines RESET y GND de Arduino. El terminal positivo del condensador se conecta al RESET.

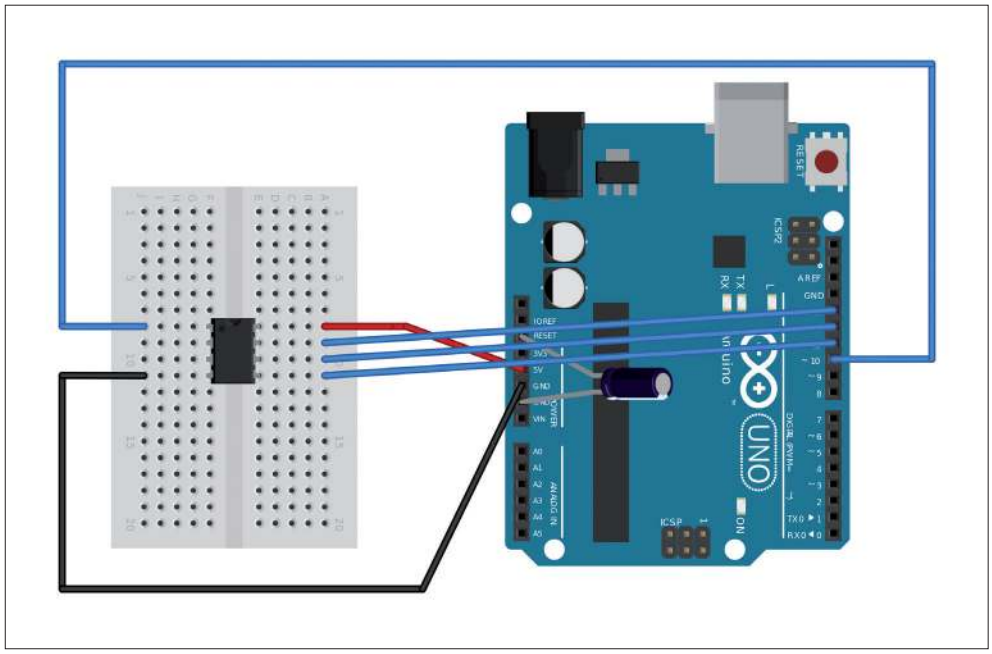


Figura 9.8 – Conexión de un ATtiny85 para la programación de un ArduinoISP.

1. En el menú **Tools** > **Programmer** seleccionamos la opción **Arduino as ISP**.
2. Pulsamos sobre el botón **Upload**.
3. Si no aparece ningún mensaje de error, el sketch debería haberse transferido con éxito al chip.
4. Desconectamos Arduino del ordenador, para que el ATtiny no esté alimentado.
5. Extraemos los cables utilizados para la programación (pines 10, 11, 12 y 13), pero no los *jumper*s utilizados para la alimentación (GND y 5 V).
6. Añadimos un led y una resistencia de 220 Ω al pin físico número 5 del chip.
7. Volvemos a conectar Arduino al ordenador mediante el cable USB. Arduino solo servirá para alimentar el ATtiny.
8. ¡El led parpadea!

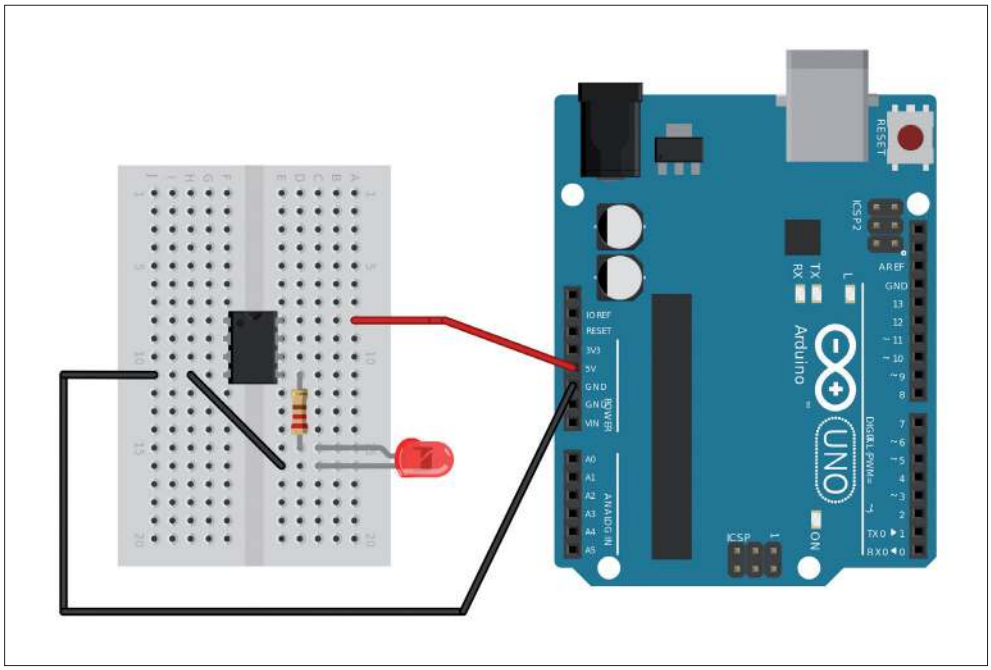


Figura 9.9 – El ATtiny85 conectado a un led alimentado por Arduino.

Si algo va mal, el led no parpadeará y, probablemente, en un recuadro del IDE de Arduino aparecerá un texto de color naranja.

- Comprobamos si hemos cometido algún error de escritura en el código. Analizando los mensajes de color naranja podremos extraer información sobre el tipo de error y sobre su posición en el sketch.
- Si después de los mensajes de error aparece el código SK500, los problemas son de transferencia de Arduino al ATtiny. Comprobemos todos los *jumper*s y, si es necesario, los sustituimos.
- Comprobamos que el puerto serie esté configurado correctamente.

Existe un enfoque alternativo para utilizar los ATtiny con Arduino. El proyecto se llama arduino-tiny (http://bit.ly/arduinotiny).

Compatibilidad entre Arduino y los ATtiny

Los microcontroladores AVR de la familia ATtiny son menos potentes que Arduino y, si los programamos con el IDE de Arduino, el número de funciones disponibles es limitado. Podemos utilizar casi todos los comandos previstos para Arduino:

- `pinMode()` – Configura un pin como entrada o como salida.
- `digitalWrite()` – Ajusta el nivel de un pin digital.
- `digitalRead()` – Lee el estado de un pin.
- `analogRead()` – Lee el valor analógico de un pin.
- `analogWrite()` – Ajusta una señal PWM.
- `shiftOut()` – Transmite un byte en el pin indicado, bit a bit.
- `pulseIn()` – Detecta la llegada de un impulso a una entrada.
- `millis()` – Lee el número de milisegundos desde que se enciende el chip.
- `micros()` – Lee el número de microsegundos desde que se enciende el chip.
- `delay()` – Detiene la ejecución de un sketch durante el número de milisegundos indicado.
- `delayMicroseconds()` – Detiene la ejecución de un sketch durante el número de microsegundos indicado.

Desde la versión 1.0.2 de Arduino (IDE), las funciones para la gestión serial también deberían ser compatibles con los ATtiny. Muchas otras funciones no están soportadas, como las destinadas a los servomotores. Buscando en Internet se pueden encontrar múltiples librerías dedicadas a los ATtiny, entre las cuales una para servomotores (Servo8Bit).
Si el ATtiny85 no fuera suficiente, podemos utilizar otros chips. Una excelente elección es el ATtiny2313 o el ATtiny4312, que cuentan con un mayor número de pines, así como con una interfaz serial. Si este espacio no nos basta, podemos pasar directamente a un ATmega328, el chip de Arduino. Si lo programamos directamente, tendremos además más espacio porque no tiene gestor de arranque.
Con el ATmega o el ATtiny2313 quizás será necesario conectar un cuarzo para generar un reloj de frecuencias más elevadas. Comprobamos en las hojas de especificaciones en qué pines se conecta el cuarzo. Con uno de 16 MHz también se necesitan dos condensadores de 20 pF. No debemos olvidarnos de conectar el reset a los 5 V para habilitar el chip.

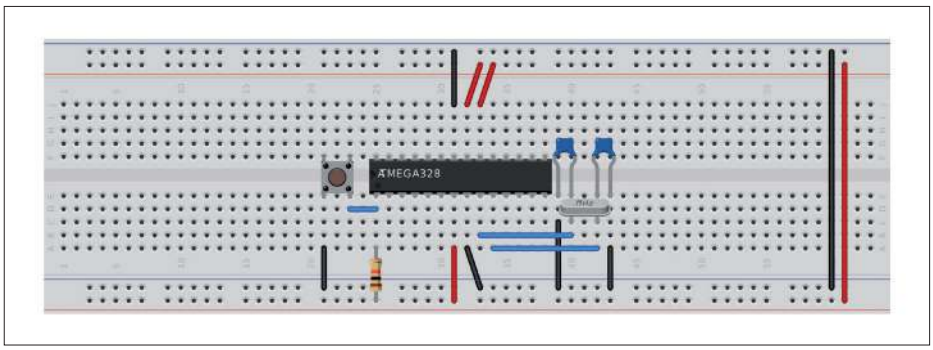


Figura 9.10 – Un chip ATmega328 en una placa de pruebas dotado de un cuarzo de 16 MHz: un Arduino DIY.

Lectura de una entrada analógica

Veamos ahora un segundo ejemplo en el cual escribiremos un sketch para leer una entrada analógica. Con Arduino UNO podemos conectar una fotorresistencia y, después, leer los valores en el puerto serie. Sin embargo, con el ATtiny85 no tenemos un puerto serie, por lo que conectaremos un led para que se encienda si el valor detectado por el sensor supera un umbral determinado.

Las piezas que necesitamos son las siguientes:

- una placa de pruebas;
- Arduino UNO programado con ArduinoISP (u otro programador, como el FabISP);
- un ATtiny85;
- una fotorresistencia;
- una resistencia de 10 kΩ;
- un led;
- una resistencia de 220 Ω;
- un condensador de 0,1 µF;
- algunos *jumpers* o cables para las conexiones;
- un alimentador a 5 voltios (también puede utilizarse el mismo Arduino como alimentador).

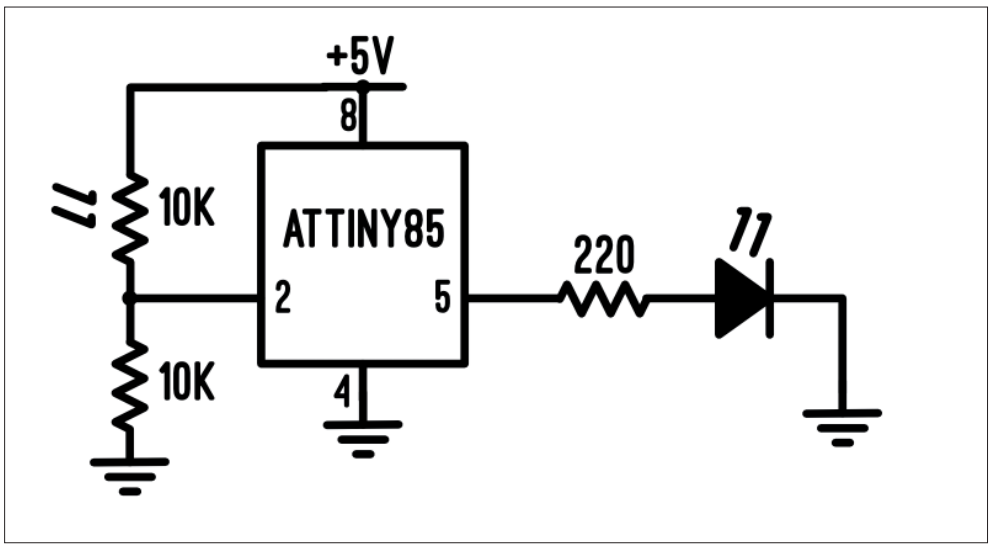


Figura 9.11 – Esquema eléctrico del circuito con el ATtiny85, una fotorresistencia y un led. Se indica una alimentación a 5 V que puede tomarse de Arduino o de un alimentador.

Empezamos con nuestro experimento:

1. Colocamos el ATtiny85 en el centro de la placa de pruebas.
2. Conectamos los pines 10, 11, 12 y 13 de Arduino al ATtiny.
3. Volvemos a copiar el sketch en una nueva ventana de Arduino y programamos el chip como hemos aprendido en el ejemplo anterior.

```
void setup() {
  pinMode(0, OUTPUT);
}

void loop() {
    int light = analogRead(A3);
    if (light > 500) {
        digitalWrite(0, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(0, LOW);
    }
    delay(100);
}
```

4. Desconectamos Arduino.
5. Conectamos el pin número 8 del chip al raíl de la placa de pruebas que utilizaremos para los 5 V.
6. Conectamos el pin 4 del ATtiny al raíl de tierra.

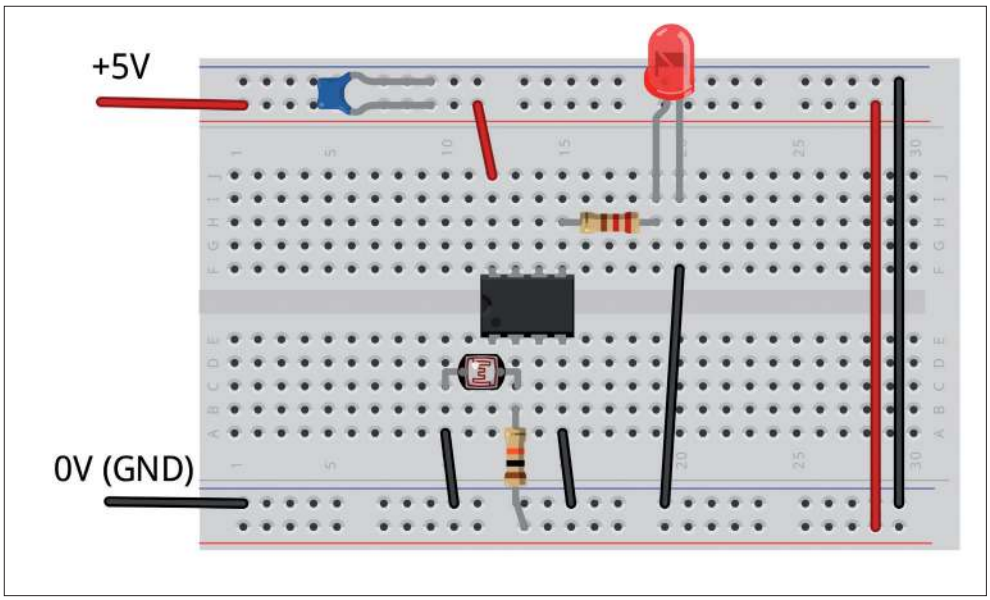


Figura 9.12 – Esquema del circuito con el ATtiny85 y la fotorresistencia, realizado sobre una placa de pruebas.

7. Insertamos la fotorresistencia con la resistencia de 10 kΩ en serie y hacemos que llegue la señal producida por el divisor al pin 2 del chip, que corresponde a la entrada analógica número 3 (A3 en el sketch).
8. Añadimos el led con la resistencia de 220 Ω, de manera que el positivo (ánodo) del led esté conectado al pin físico número 5 del chip, que corresponde al pin digital número 0.
9. Insertamos el condensador de *bypass* de 0,1 µF sobre los dos raíles de alimentación de la placa de pruebas. El condensador sirve para eliminar las interferencias.
10. Alimentamos el circuito a 5 V y el led debería encenderse solo cuando el valor detectado por la fotorresistencia supera el umbral que hemos configurado (si no funciona, podemos probar a modificar el valor de umbral indicado en el sketch y, después, volvemos a cargar el *firmware* en el ATtiny).

Como práctica, vamos a intentar:

- Ajustar de forma dinámica el parámetro del umbral para encender el led utilizando un trimmer externo.
- Programar el led con una señal PWM proporcional al valor leído por el sensor.

Los fuses

El ATtiny que hemos utilizado en los ejemplos precedentes trabajará a la frecuencia de 1 MHz, según los ajustes de fábrica. Si programamos los chips con ArduinoISP no podemos modificar los fuses como queramos. Para ajustar el reloj interno a 8 MHz, debemos seleccionar en **Tools** > **Device** la opción **ATtyny85 (internal 8 MHz clock)** y hacer clic en la opción **burn bootloader** del menú **Tools**. El ATtiny no gestiona un gestor de arranque y la operación ajusta simplemente los fuses del chip. Para modificar todos los fuses a nuestro gusto, se necesita un auténtico programador ISP que deberá combinarse con una herramienta para la configuración de las opciones del chip.

Programar en C

Con un programador ISP es posible programar directamente los chips sin tener que utilizar el entorno de programación de Arduino. ¿Cuál es la ventaja? Que el tamaño del programa se reduce considerablemente. El programa que hace parpadear un led se reduce de un tamaño de más de 2800 bytes a solo 250; ¡un gran ahorro! El inconveniente es que perdemos todas las facilidades que pone a nuestra disposición el

entorno de programación. Ya no dispondremos de todas aquellas cómodas funciones para ajustar y leer pines, activar los PWM, escribir en los seriales, etc. Para aprender a escribir el *firmware* de este modo se necesita un poco de práctica. Internet y las hojas de especificaciones son instrumentos de gran ayuda.

La compilación de los códigos se lleva a cabo con avr-gcc. Normalmente, la compilación la realiza un *makefile*, es decir, un archivo que se ocupa de gestionar todas las fases de la compilación y de la creación del archivo .hex que se transfiere al chip. Para transferir el código del ordenador al chip es preciso utilizar el programa avr-dude.

En los sistemas GNU/Linux basta con instalar los paquetes de avr-gcc y avr-dude que, en distribuciones como Ubuntu, ya están incluidos en el conjunto de paquetes disponibles en los repositorios. Para OS X, existen portadores de avr-gcc como AvrMacPack. Avr-gcc es un programa a terminal, sin interfaz gráfica, y se invoca mediante scripts. Para facilitarnos las operaciones, podemos descargar AVR8 Burn-o-mat, una interfaz gráfica para avr-dude que simplifica las operaciones de configuración de los fuses y la transferencia del *firmware* a los chips AVR.

WinAVR es una suite de programas para Windows, útiles para desarrollar *firmware* para los chips AVR. Contiene un compilador (avr-gcc), el programador (avr-dude) y también un depurador (avr-gdb). Con WinAVR no es necesario el IDE de Arduino y los sketches se escriben en C, sin atajos. Esto significa que, para configurar los pines como entradas o salidas, es preciso trabajar con variables especiales y directamente sobre los bits.

Si programamos libremente, ya no volveremos a disponer de las secciones **setup** y **loop** del sketch. El bucle (**loop**) debemos crearlo con un **ciclo-while** que no termina nunca:

```
while (1) {
    …instrucciones a repetir…
}
```

No pretendo tratar aquí la programación en C de los ATtiny. Os indicaré solo algunos pasos fundamentales para mostraros cómo se puede seguir a partir de este punto. Puede parecer muy complicado, pero con un poco de práctica y leyendo un manual de C todo adquirirá mayor sentido.

La configuración (**setup**) de los pines se lleva a cabo modificando los bits de una variable registro especial denominada DDRB. Cada bit indica si el pin es una entrada o una salida. Para encender o apagar un pin se modifica otra variable especial denominada PORTB. A continuación, os muestro el código completo para hacer parpadear un led:

```
#include <avr/io.h>
#define F_CPU 1000000UL
#include <util/delay.h>
```

```
int main(void)
{
     DDRB |= (1 << PB0); /* configuro PIN0 como salida*/
    while (1) {
        PORTB &= ~(1 << PB0); /* led on */
        _delay_ms(1000);
        PORTB |= (1 << PB0); /* led off */
        _delay_ms(1000);
    }
    return 0;
}
```

Guardamos el código con el nombre main.c. Para compilar el código fuente es preciso utilizar avr-gcc y, después, avr-objcopy. La compilación produce un archivo *hello.hex* que, efectivamente, puede ser muchas veces más pequeño respecto al mismo archivo producido por el IDE de Arduino.

```
avr-gcc -DF_CPU=8000000UL -mmcu=attiny85 -Os -o hello.out hello.c
avr-objcopy -O ihex -R .eeprom hello.out hello.hex
```

La programación del ATtiny se lleva a cabo con el comando `avrdude`, especificando el tipo de chip (t85 se refiere a ATtiny85), el programador (guion usbasp) y el archivo que se desea transferir (hello.hex).

```
avrdude -p t85 -c usbasp -P usb -e -U flash:w:hello.hex
```

10

Del prototipo al producto

En este capítulo veremos cómo transformar nuestro prototipo sobre una placa de pruebas en un circuito impreso de aspecto profesional. Aprenderemos a diseñar circuitos impresos con los programas gEDA y Fritzing.

En los capítulos anteriores hemos aprendido a construir prototipos sobre placas de pruebas y, eventualmente, a transferirlos a una placa perforada para conseguir un objeto más duradero. Realizar un prototipo con placa y soldador es una operación que requiere mucho tiempo. Es preciso estudiar la disposición de los componentes, soldarlos y predisponer también todo el cableado, cable a cable. En algún momento, en nuestra actividad de *makers*, podríamos tener la necesidad de producir un número determinado de placas electrónicas o bien de querer dar un aspecto más profesional a nuestra última creación. Actualmente, es muy fácil producir circuitos impresos (*Printed Circuit Board*, PCB). Podemos construirlos en casa o bien dirigirnos a uno de los múltiples servicios *online* que pueden producir incluso un fragmento a un precio asequible.

Circuitos impresos

En tiempos de las válvulas termoiónicas, los montajes electrónicos se hacían con una especie de bastidores dotados de contactos a los cuales se atornillaban o soldaban cables y componentes. El proceso de fabricación no podía ser mecanizado, entre otras cosas porque faltaba la tecnología para ello y el trabajo era completamente manual.

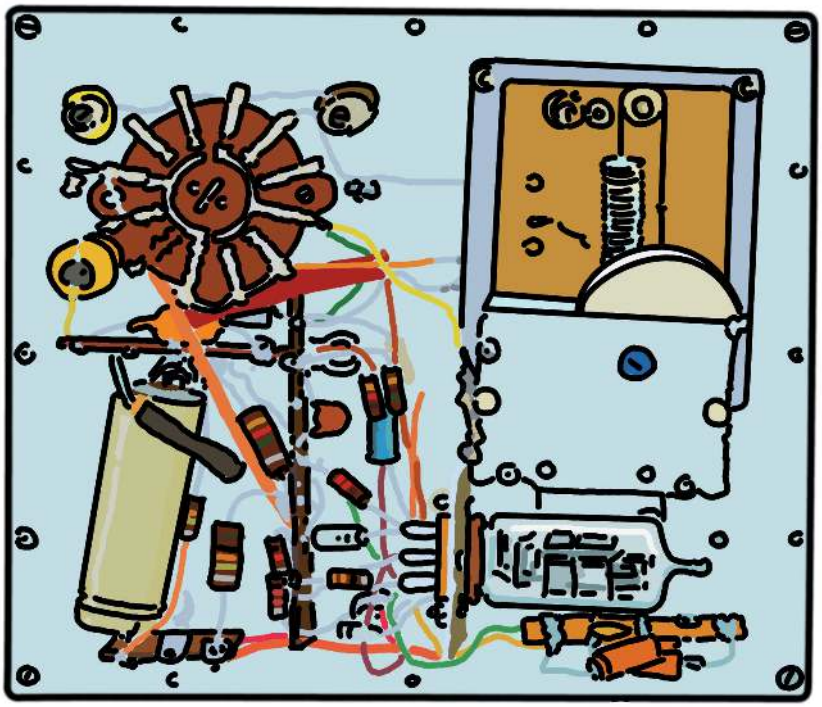


Figura 10.1 – La parte interna de una radio de válvulas con cableado flush.

Poco después de 1950 se empezaron a conocer los circuitos impresos, es decir, pequeñas placas de material aislante dotadas de conexiones eléctricas y orificios para fijar los componentes electrónicos que se sueldan a los contactos con estaño y soldador. Este tipo de montaje electrónico se denomina *de agujeros pasantes* (*Through Hole Technology*, THT). Con los circuitos impresos se redujeron los tiempos de producción y los errores de montaje. Con el tiempo, la tecnología ha sido refinada y ha hecho posible la fabricación de placas formadas por varias capas. Actualmente se llega de forma habitual a las ocho capas o *layers*, pero se pueden realizar placas de hasta veinte capas. Sobre 1970, empezaron a surgir los circuitos impresos de montaje superficial (*Surface Mounting Technology*, SMT), que redujeron los tiempos de producción porque no es preciso perforar las placas y los componentes pueden simplemente ser colocados y soldados sobre contactos superficiales, denominados también *pad*. Los montajes SMT se pueden realizar también a máquina. En un circuito formado por más de una capa, los contactos entre los niveles se realizan con orificios, denominados *vías*, recubiertos internamente de metal. Las conexiones eléctricas se llevan a cabo a partir de una delgadísima lámina de cobre, grabada con métodos químicos o mecánicos, formando así las pistas, los *pad*s y las islas en torno a los orificios.

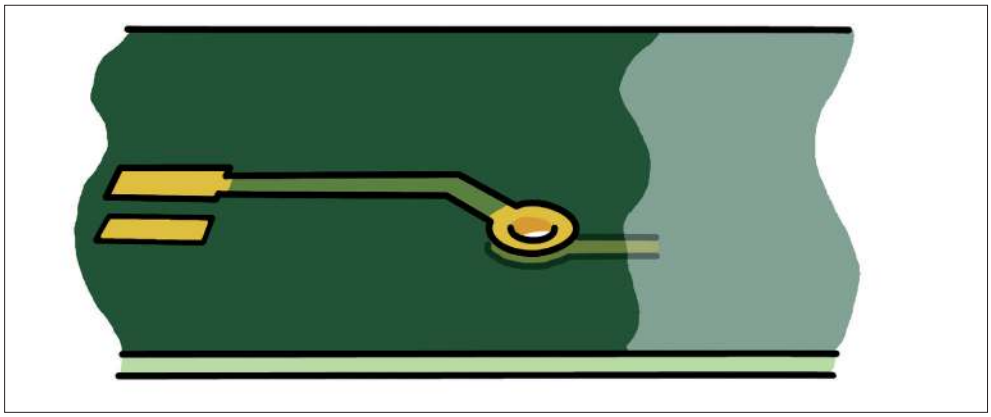


Figura 10.2 – Islas, pistas y una vía.

Los circuitos impresos se diseñan con programas CAD denominados CAE (*Computer Aided Electronic*) que ayudan a los diseñadores a trazar el esquema eléctrico y producir el circuito impreso, diseñando la disposición física de los elementos y la forma de las pistas. Estos programas tienen librerías de componentes electrónicos que contienen las dimensiones mecánicas y la disposición de los contactos de cada elemento. El paso del esquema eléctrico al diseño de las pistas no es banal en absoluto. Las operaciones de disposición de los componentes y el trazado de las pistas se denominan *enrutamiento* y los *softwares* más caros tienen procedimientos especiales para desarrollar esta tarea de forma automática.

Para la fabricación de nuestros circuitos impresos, podemos utilizar *softwares* gratuitos. Algunos de los programas más utilizados son:

- gEDA – es una suite de programas de código abierto para el diseño de esquemas eléctricos y circuitos impresos.
- Eagle – es un *software* muy utilizado, similar a gEDA, pero que en la versión gratuita tiene un área de trabajo limitada a 10 x 15 cm.
- KiCAD – es un programa similar a gEDA capaz de ayudar desde el diseño del esquema eléctrico hasta el circuito impreso. KiCAD también puede producir modelos en 3D del circuito para estudiar el desorden de los componentes.
- Fritzing – un programa de código abierto muy intuitivo con el cual es posible trabajar en placas de prueba, esquemas eléctricos y diseños finales. Fritzing ofrece también un servicio de impresión de los proyectos realizados.
- 123D Circuits – es un programa de Autodesk que se utiliza online para diseñar y simular circuitos.

En las siguientes páginas trataremos gEDA y Fritzing.

gEDA

gEDA es una suite de programas para diseñar circuitos impresos. Es de código abierto con licencia GPL y no tiene ninguna limitación. El proyecto gEDA nació en la Universidad de Cambridge en 2006. gEDA significa GPL EDA, es decir, *Electronic Design Automation* y se puede descargar desde las siguientes direcciones: http://www.gpleda.org/ o http://geda.seul.org/.

Los programas que encontramos en gEDA son:

- gschem – un editor gráfico para el diseño de los esquemas eléctricos;
- pcb – la herramienta para el enrutamiento de las pistas y para el diseño del circuito impreso;
- gerbv – un visor para analizar los archivos de producción (standard gerber);
- xgsch2pcb – una interfaz gráfica para la gestión de los proyectos;
- Icarus y gtkwave – dos programas para llevar a cabo simulaciones sobre circuitos y visualizar los resultados.

Puede parecer un poco incómodo tener tantos programas para hacer una única cosa, pero en poco tiempo uno se habitúa a ellos. Las distintas fases de diseño son muy distintas y difícilmente nos encontraremos pasando del editor del esquema al del circuito impreso.

Vamos a intentar diseñar un esquema eléctrico sencillo, desarrollar el circuito impreso y exportar los archivos gerber para la producción de las placas. El gerber es un formato estándar, aceptado por todos los fabricantes de placas electrónicas. Los archivos describen el diseño de las vías, los niveles, la posición y el diámetro de los orificios. Si enviamos los archivos a un fabricante, podemos tener un presupuesto de forma inmediata.

xgsch2pcb

Creamos un proyecto con el programa **xgsch2pcb**. En la barra de herramientas del programa pulsamos el icono que muestra una hoja de papel y una cruz y un asistente nos guiará paso a paso:

1. Empezamos con un proyecto en blanco (blank).
2. Elegimos un nombre, por ejemplo, *fotoled*.
3. Indicamos la ruta en la cual queremos guardar el archivo del proyecto.
4. Si es necesario, creamos una carpeta.
5. Al finalizar el asistente, en la carpeta veremos un archivo denominado *fotoled.gsch2pcb*.

gschem

El proyecto todavía está vacío. Hasta ahora solo hemos creado el contenedor para los archivos. A continuación, pasamos a añadir un archivo de tipo esquemático, en el cual trazaremos el esquema eléctrico, es decir, definir los componentes y sus conexiones. Para añadir un archivo de este tipo, pulsamos el botón **Add**, situado en la parte inferior de la ventana xgsch2pcb. El nuevo archivo aparece en la lista de archivos del proyecto. Además del archivo con el esquema eléctrico, también veremos un archivo con el diseño del circuito impreso. El archivo se denomina *fotoled.pcb*. Trabajamos con el esquema eléctrico pulsando **Edit schematic**. El programa para crear los esquemas eléctricos se llama gschem.

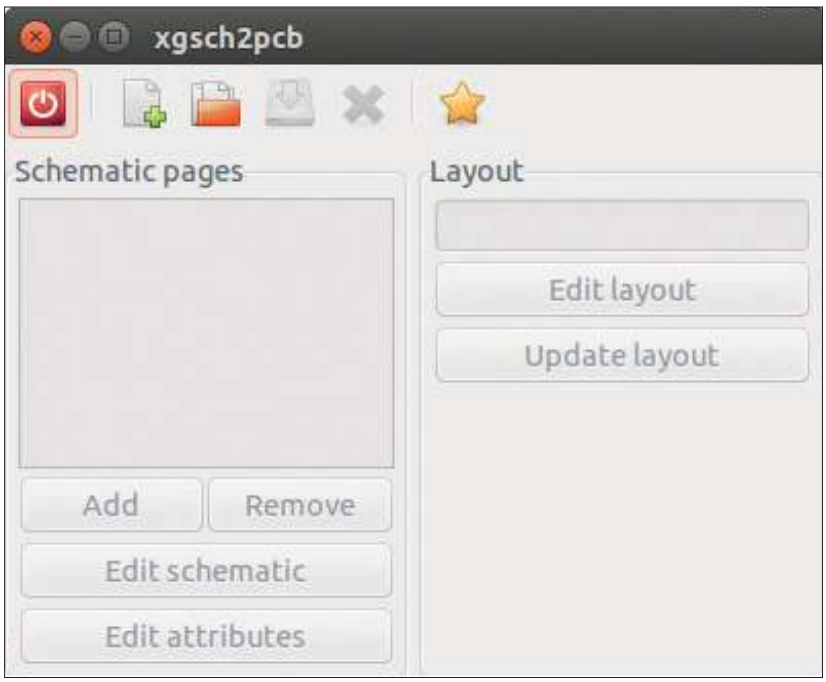


Figura 10.3 – El programa xgsch2pcb para la gestión de proyectos y de archivos de gEDA.

gschem se abre acompañado de una amenazante ventana en la cual aparecen una serie de avisos. Parecen errores, pero en realidad son informaciones acerca de las librerías de componentes que han sido detectadas y cargadas en el programa. Las librerías de gEDA son muy completas, pero a veces alguna de las partes no se encuentra. En estos casos, con la ayuda de un simple editor de textos, podemos añadir lo que necesitamos.

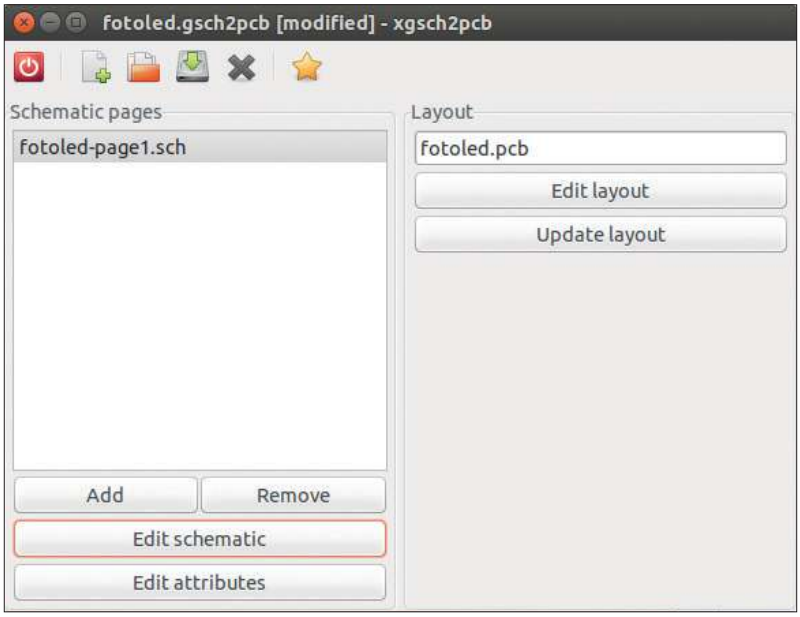


Figura 10.4 – Creamos un archivo esquemático denominado fotoled.sch.

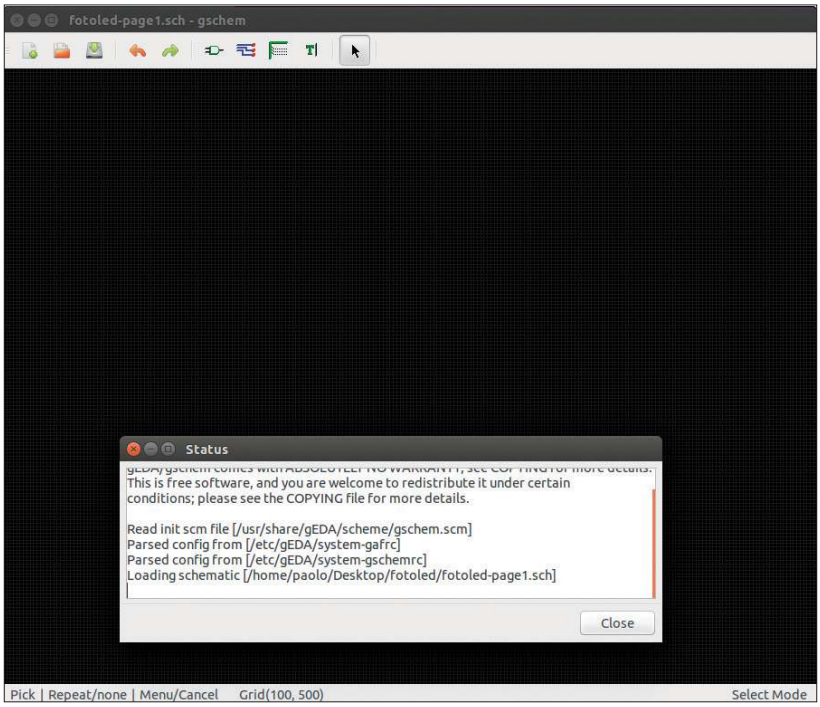


Figura 10.5 – gschem se abre acompañado de una ventana de registro con la lista de las librerías detectadas.

Aparentemente, el programa parece muy sencillo porque no está abarrotado de filas de botones y barras de herramientas con decenas de funciones, como ocurre en los CAD profesionales. Para insertar el primer componente, pulsamos la tecla **I**. Se abre así una ventana donde debemos buscar la pieza que necesitamos. Podemos curiosear entre las categorías, organizadas en modo de árbol, o bien utilizar el campo **filter** para localizar una pieza específica. Probemos a buscar el transistor 2N2222. Entre los resultados debería aparecer una fila con el archivo del transistor 2n2222-1.sym. Si hacemos clic sobre dicha fila, en el área de trabajo aparecerá el símbolo del transistor. Podemos insertar el componente del dibujo simplemente situando el cursor en el área de trabajo y añadiendo el símbolo con un clic. Sin cerrar la ventana de los componentes, insertamos todas las piezas que necesitemos.
Tratemos de encontrar los símbolos para dibujar el circuito del led sensible a la luz que hemos realizado en el Capítulo 5:

- un transistor 2N3904, escribiendo en el campo de búsqueda **2n3904**;
- una resistencia, buscando **RESIST** y seleccionando **resistor-1.sym**;
- un led, buscando **led** y seleccionando **led-1.sym**;
- una batería, buscando **batt** y seleccionando **battery-1.sym**;
- un fototransistor, buscando **photo** y seleccionando **photo-transistor-1.sym**.

Colocamos los símbolos arrastrándolos con el ratón y organizamos el dibujo. Los símbolos se seleccionan con un simple clic y el elemento seleccionado pasa a mostrarse de color naranja. Podemos seleccionar grupos de elementos haciendo clic sobre sus símbolos manteniendo pulsada la tecla **Mayús**. Para girar un elemento, antes debemos seleccionarlo y después pulsar la combinación de teclas **E** + **R** (que significan *Elemento*, *Rota*).
Una vez colocados los símbolos, debemos conectarlos unos a otros. En los terminales de cada elemento podemos ver unos pequeños cuadrados o círculos de color rojo. Situamos el ratón sobre una de estas áreas, pulsamos la tecla **N**, desplazamos el cursor hasta el terminal del segundo elemento que queremos conectar y hacemos clic. La línea que hemos trazado se mostrará de color azul. Si movemos el cursor, las zonas en las cuales puede conectarse el cable se muestran con un círculo de color amarillo. Para interrumpir la colocación de los cables, pulsamos la tecla **Esc**. La fase de cableado es muy importante, porque si los cables y los componentes no están bien conectados el esquema no se podrá utilizar en los siguientes pasos. Para estar seguros de estas conexiones, tratamos de mover un poco un símbolo; las conexiones deberían seguirlo. Para eliminar un cable, lo seleccionamos y, después, pulsamos la tecla **Supr** o **D**.
Para ampliar la escena, pulsamos **Z** y para reducir el zoom **Mayús**+**Z**.
Conectamos los símbolos del circuito del led fotosensible como se muestra en la figura 10.6.

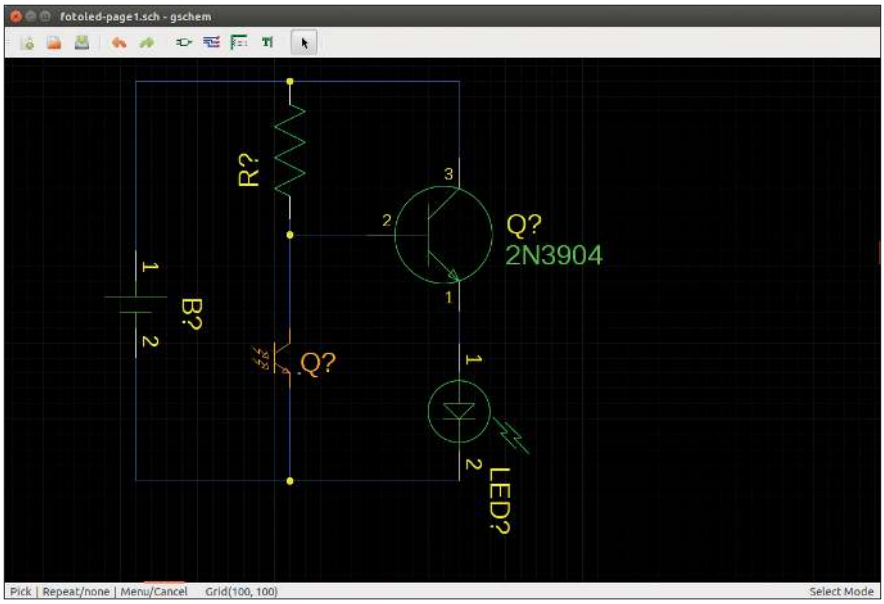


Figura 10.6 – Colocamos de forma ordenada los componentes del circuito hasta conseguir un esquema organizado.

Cada símbolo va acompañado de una etiqueta denominada *referencia del componente* (refdes en el programa). Junto a las resistencias vemos una R seguida de un signo de interrogación. Los condensadores se indican con una C, los transistores con una Q, las bobinas con una L, los chips con las letras UI, etc. Cada elemento debe tener una referencia única a la cual después asignaremos su valor (o sigla) y su huella o *footprint*, es decir, la silueta con su tamaño real. Las huellas corresponden al conjunto de orificios, pistas e islas que son necesarias para montar un componente en el circuito impreso. Para un resistor, una huella consiste en dos simples orificios separados por un determinado número de milímetros. Un conector puede tener una huella compleja, en ocasiones formada por orificios o muescas para fijar la pieza.

Para modificar la referencia de una pieza, debemos hacer doble clic sobre la etiqueta o bien seleccionar la etiqueta con un clic y pulsar la combinación de teclas **E** + **X**.

Para acceder a todas las propiedades de un símbolo, seleccionamos el elemento con un clic y pulsamos dos veces la tecla **E** (Element, Edit). La ventana con las características del símbolo muestra una lista de propiedades como la referencia, el valor y la huella. En el campo **Value** insertamos el valor del componente, que puede ser la resistencia en ohmios, el valor de la capacidad o la sigla del transistor. Un atributo puede ocultarse deseleccionando la correspondiente casilla **Vis?**. También podemos elegir si visualizar la etiqueta con el nombre y el valor de una propiedad activando las correspondientes casillas **N** (Name) y **V** (Value).

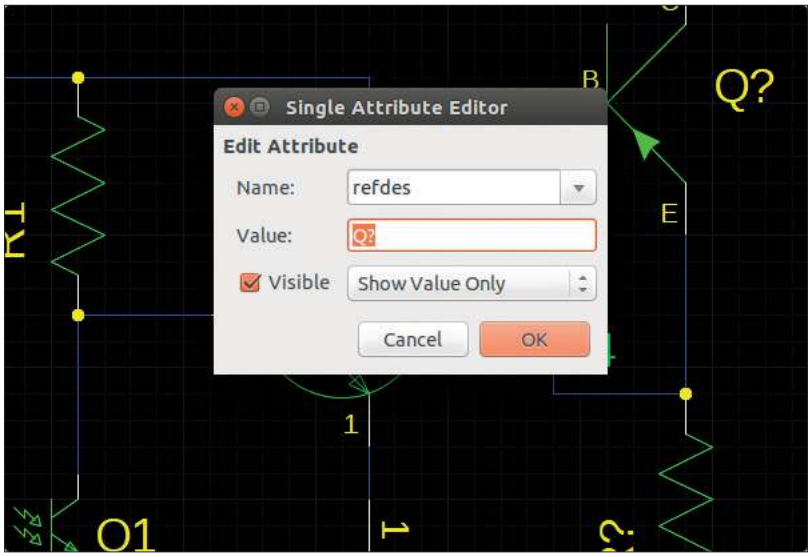


Figura 10.7 – El Single Attribute Editor, para modificar las propiedades visibles de los componentes.

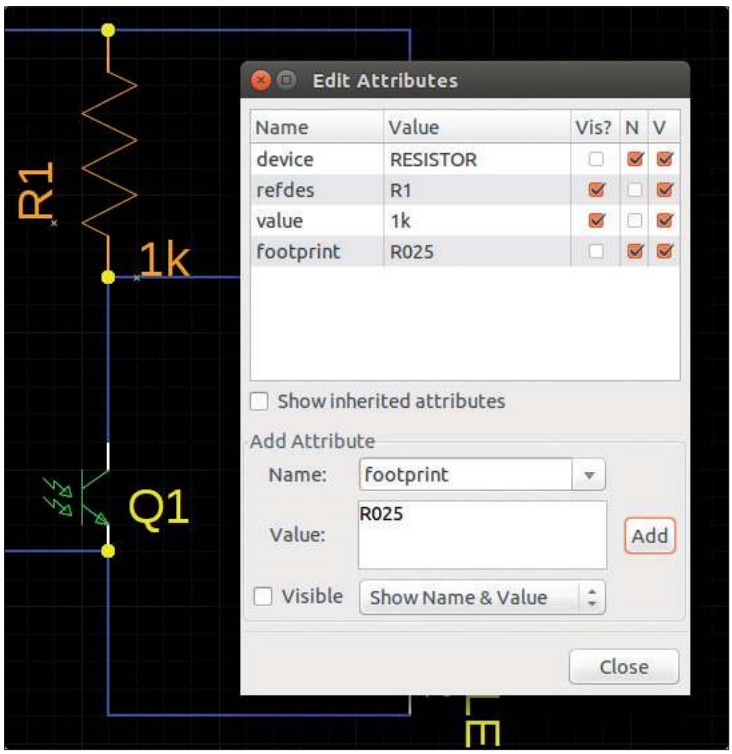


Figura 10.8 – La ventana Edit Attribute nos permite modificar todas las propiedades de un elemento.

Asignamos un nombre y un valor a todos los símbolos del esquema led fotosensible. Asignamos a la resistencia un valor de 1 kΩ. Cuando terminemos de dibujar el circuito guardamos el trabajo mediante **File** > **Save**.

Para crear un circuito a partir del esquema, necesitamos proporcionar las huellas de cada elemento. En ocasiones, podemos no tener ni idea del tipo de huella que puede tener un componente y en otras podemos conocer la forma de la pieza pero no saber qué escribir en el campo de texto. Los problemas más grandes se tienen con conectores u otros componentes especiales, porque resistencias, condensadores, transistores, circuitos integrados y muchos otros elementos de uso común adoptan formatos estándares que se pueden obtener de las hojas de especificaciones. En el sitio http://www.gedasymbols.org podemos encontrar una base de datos de símbolos y huellas para gEDA que puede ayudarnos en la búsqueda de huellas. También podemos abrir el programa gEDA **pcb** y pulsar la tecla **I** (insert). Aparecerá una ventana para la búsqueda de componentes en las librerías del *software*, donde podremos encontrar rápidamente el nombre de las huellas.

Volvemos al xgsch2pcb y observamos que en un vértice de la pequeña ventana hay un botón denominado **Edit attributes**. Si lo pulsamos se abrirá una hoja de cálculo (gattrib) donde podemos especificar los atributos para cada componente del esquema eléctrico.

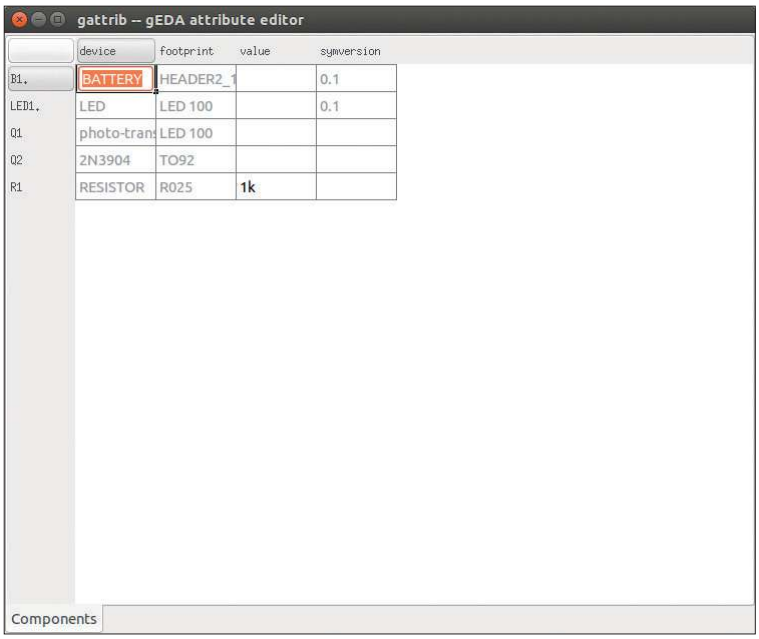


Figura 10.9 – El programa gattrib sirve para modificar las propiedades de todas las piezas y, eventualmente, insertar las huellas que faltan.

Para los componentes de nuestro circuito, utilizamos las siguientes huellas:

- Led – led 100 – esta huella se genera con una macro que crea dos campos y los coloca a 100 mils de distancia (un mil es igual a una milésima de pulgada).
- Batería – HEADER2_1 – esta huella estará formada por una serie de campos separados por 2,54 milímetros (o 100 mils).
- Fototransistor – led 100 – el fototransistor tiene el tamaño de un led.
- Transistor – TO92 – el paquete más común para el transistor 2N3904 es TO92.
- Resistor – R025 – usaremos un resistor de un cuarto de vatio (0,25 vatios).

Del esquema eléctrico al circuito impreso

Con gEDA podemos transformar un esquema eléctrico en un circuito impreso mediante macros que facilitarán el trabajo de enrutamiento. En primer lugar, necesitamos la *netlist* o lista de conexiones, es decir, un archivo que describe todas las conexiones entre los componentes. Para la creación de la *netlist*, abrimos un terminal en la misma carpeta del proyecto (aquella en la cual hemos creado el archivo fotoled.sch) y después escribimos:

```
gsch2pcb fotoled fotoled-schema.sch
```

El comando creará un nuevo archivo de texto con la extensión .net, que contiene una línea para cada conexión. Al inicio de la línea aparece el nombre asignado a la conexión, seguido de todos los pines o terminales que forman parte. El archivo nos servirá dentro de poco para dibujar automáticamente las pistas. Volviendo a xgsch2pcb, pulsamos **Edit layout** para abrir el programa **pcb** para el diseño de los circuitos impresos. En la ventana de **pcb** veremos todas las huellas de los componentes agolpados en una esquina. En el menú principal, seleccionamos **Select** > **Select all visible object** y, a continuación, **Select** > **Disperse Selected Element** para separar todos los componentes.

Seguidamente, cargamos el archivo con las conexiones utilizando **File** > **Load Netlist file** y después seleccionamos **Optimize rats-nest** que forma parte del menú **Connects**. Aparecerán unas finísimas líneas amarillas, denominadas *ratlines*, que conectan directamente entre sí las huellas de los componentes. Esto todavía no son las pistas del circuito impreso, sino que sirven para ayudarnos a colocar las huellas del modo más ordenado posible. El aspecto inicial de las *ratlines* será seguramente un poco confuso. Si movemos un componente, las *ratlines* lo seguirán, como si fueran gomas elásticas. Según como orientemos los elementos, las conexiones pueden cambiar, buscando siempre la mejor vía. Para forzar el recálculo de los caminos, utilizamos la función **Optimize rats-nest** o pulsamos la tecla **O**.

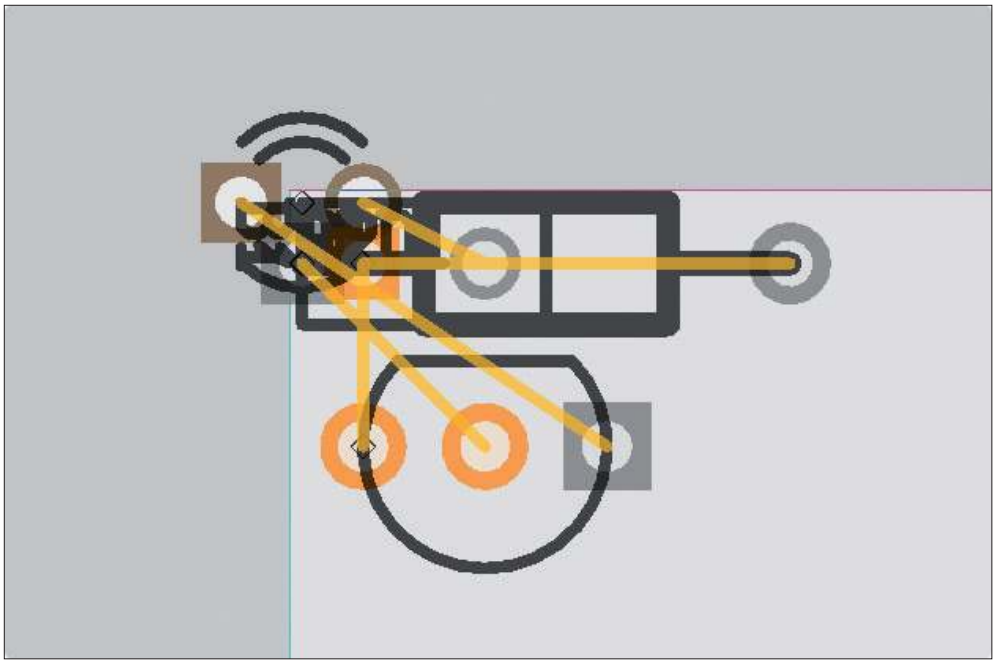


Figura 10.10 – Tras haber cargado la *netlist* y generado las *ratlines*, el circuito tiene un aspecto muy confuso.

Podemos desplazar las huellas arrastrándolas o rotándolas con la tecla **F9**. Ampliamos la visualización del circuito con el zoom (tecla **Z**) y reducimos la ampliación con **Mayús**+**Z**. Para anular la última operación (*undo*), pulsamos la tecla **N**.
Si habilitamos la rejilla con el imán será más fácil alinear la huella con el dibujo. El resultado final será mucho más ordenado y agradable.

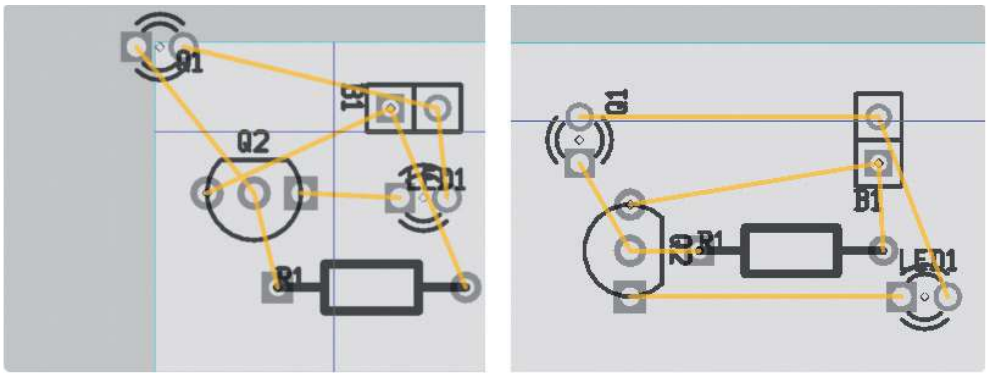


Figura 10.11 – En la figura podemos ver algunos pasos de la secuencia de enrutamiento de las *ratlines*.

En gEDA pcb los circuitos impresos no tienen límites de tamaño. Para modificarlo, abrimos la ventana de las preferencias que se encuentra debajo del menú **File** e indicamos la altura y la anchura de la placa.
Las medidas electrónicas, a menudo, se expresan en una unidad de medida especial denominada mil (o thou), que corresponde a una milésima parte de una pulgada. gEDA no quiere ser menos y también trabaja principalmente en mils. Las dimensiones de los componentes, el paso de la rejilla, el espesor de las pistas, etc. Todo se expresa en esta unidad de medida. Para convertir mils en milímetros y viceversa, debemos utilizar las siguientes relaciones:

$$1 \text{ mm} = 39{,}37 \text{ mil}$$
$$1 \text{ mil} = 0{,}0254 \text{ mm}$$

Nuestras placas pueden tener hasta ocho niveles o capas. Para las placas que imprimiremos en casa, debemos limitarnos a un único nivel o, como máximo, dos. Cada nivel se distingue por un color. Los niveles aparecen en una lista en un recuadro situado a la izquierda de la ventana del programa. Para seleccionar el nivel en el cual trabajar debemos hacer un clic sobre su nombre. En cambio, para ocultarlo, pulsamos en el pequeño cuadrado de color. Existen niveles especiales:

- rats – es el nivel con las líneas de conexión de los elementos que se utilizan para el enrutamiento del circuito;
- silk – es el nivel destinado a los textos que serán serigrafiados (o impresos con otros métodos) sobre el circuito impreso;
- pin/pads – es el nivel de los campos y de los *pads* de los componentes;
- via – contiene las vías presentes en el circuito y que conectan las distintas capas;
- far side – es el nivel que permite ver en transparencia los elementos que se encuentran al lado opuesto de la placa;
- solder mask – es el nivel para enmascarar el circuito y, normalmente, está desactivado.

La máscara de soldadura (*solder mask*) se utiliza para el acabado de la placa en fase de fabricación. Estamos acostumbrados a ver los circuitos impresos industriales de color verde. En realidad, el circuito impreso es semitransparente con las pistas a la vista. Para protegerlo e aislar las pistas se extiende una capa de aislante que, normalmente, es de color verde. Este aislante no debe cubrir contactos, *pads* ni islas. La máscara de soldadura crea una cobertura de protección para estas áreas. Habitualmente no se ve y se activa solo antes de exportar los archivos gerber, para controlar

que la máscara sea correcta y que las partes que deberían estar estañadas están protegidas por el lacado.
El modo más correcto de dibujar un circuito impreso es utilizando *rats* y *auto-routing*. Los circuitos se pueden acabar o trazar a mano por completo sin dibujar el esquema eléctrico con gschem. Conviene trabajar directamente en gEDA pcb si debemos realizar circuitos simples, porque si utilizamos la suite del modo correcto podemos sacar provecho de muchas ayudas y facilidades que disminuirán nuestros errores y garantizarán resultados mejores.

Diseño manual

Podemos añadir una huella en cualquier momento desde la ventana de búsqueda que se abre pulsando la tecla **I**. Si una huella no está disponible, podemos dibujarla o definirla con un simple archivo de texto.
La función VIA que vemos en el primer botón de la barra de herramientas (tecla **F1**) inserta una vía es decir, un orificio especial que permite conectar las distintas capas de nuestro circuito.
Para dibujar las pistas, se utiliza la función LINE (tecla **F2**). Situamos el cursor en el punto de inicio y hacemos clic. La anchura del trazado depende del estilo seleccionado.
El tamaño de las pistas y de los elementos del diseño depende del *route style*: una especie de plantilla aplicada a todo lo que se dibuja. Hay cuatro *route style* predefinidos: fat, skinny, power y signal. Cada estilo proporciona ajustes predefinidos para el grosor de las pistas, los intervalos de guardia y el tamaño de los caminos, vías e islas. Skinny es el estilo más sutil, con un grosor de seis mils, seguido por signal, power y, por último, fat. Si debemos imprimir nosotros el circuito en casa, es recomendable utilizar siempre pistas bastante anchas y utilizar el estilo signal para las partes más detalladas. Los estilos se pueden crear o modificar según nuestras preferencias mediante el botón **Route Style**.
Para aumentar el grosor de una vía o de una pista, situamos el cursor sobre ella y pulsamos la tecla **S**. Con **Mayús**+**S**, en cambio, el grosor disminuirá. Con **Alt**+**S** podemos cambiar el diámetro del orificio de vías e islas.
Si el circuito tiene más de una capa, en ocasiones tendremos que trabajar también sobre el lado opuesto de la placa. Podemos girarla pulsando la tecla **Tab**. Todos los elementos se apoyan sobre la capa superior de la placa, pero podemos moverlos al lado opuesto del circuito impreso simplemente situando encima el cursor y pulsando la tecla **B**.

Enrutamiento de los circuitos

Si hemos creado el diseño partiendo del esquema eléctrico y, por tanto, disponemos de una lista de conexiones, las distintas partes estarán conectadas por las *ratlines*. Podemos enrutar el circuito a mano, colocando los componentes uno a uno e intentando llegar a una situación en la cual la disposición de las líneas sea poco complicada. Solo en este punto podemos tratar de dibujar las auténticas pistas. Debemos intentar siempre que todo esté en un único nivel, porque los costes de producción son inferiores. Sin embargo, a veces no es posible y entonces se deben introducir puentes o añadir capas. El número de capas en los circuitos impresos es siempre par.

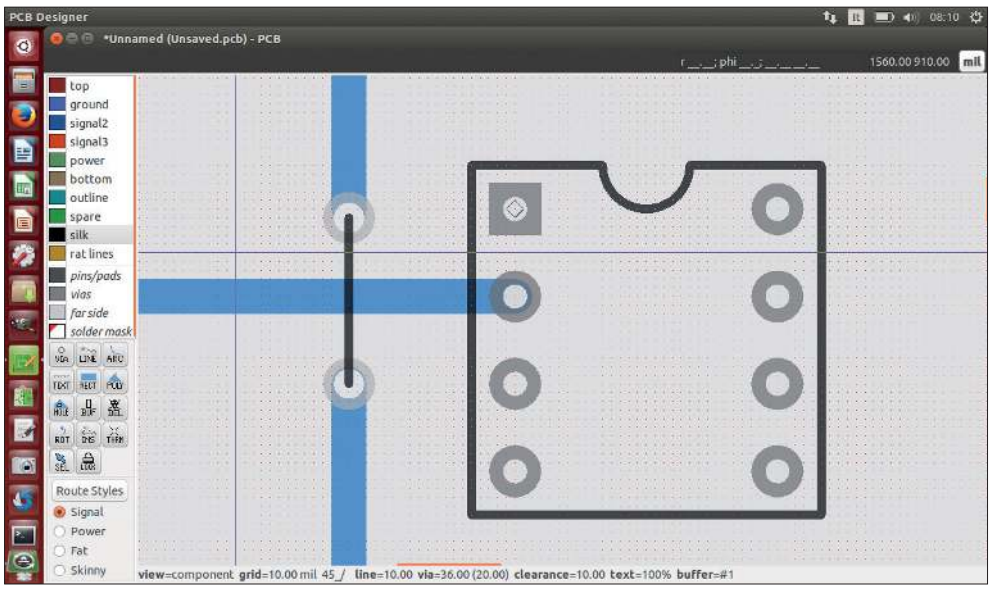


Figura 10.12 – Para evitar tener que añadir capas, podemos utilizar puentes: simples fragmentos de cable para hacer pasar una pista sobre otra.

El programa pcb ofrece además una función para el enrutamiento automático y la optimización de las conexiones. La función **auto-place** intenta distribuir los componentes de la mejor manera, reduciendo los cruces entre las *ratlines*. Si los componentes son muchos, la función necesitará más tiempo. Seleccionamos los componentes que queremos reordenar y activamos la función **Auto place selected elements** del menú **Select**. En este menú encontramos también la función **disperse**, la cual aleja y dispersa de forma uniforme los elementos.

La función **auto-route** convierte las *ratlines* en pistas. Podemos activarla para todas las *ratlines* del circuito o solo para una parte de ellas, especificando el estilo de trazado de

las pistas. Los resultados no son nunca perfectos y siempre se necesita alguna intervención manual. ¡El enrutamiento de los circuitos no es nada banal!

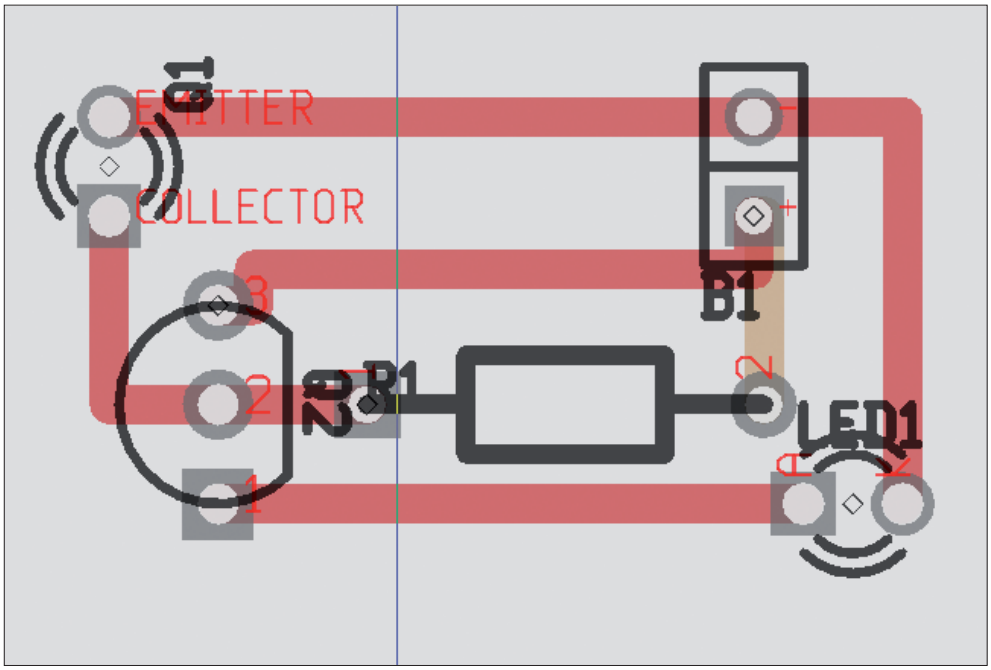


Figura 10.13 – Tras haber seleccionado la función autoroute, nuestro circuito impreso tiene un aspecto ordenado y profesional.

Cuando estemos satisfechos con el resultado obtenido, podremos exportar los archivos para su fabricación. Normalmente los fabricantes necesitan los archivos en formato gerber. La función **Export** se encuentra en el menú **File**. Además de los archivos gerber, también se puede exportar la imagen de las pistas o un renderizado fotorrealístico de la placa. Entre las opciones está también el formato PostScript, similar al pdf, que se puede imprimir sobre papel y utilizar para realizar en casa el circuito impreso. Después de haber impreso los archivos, comprobamos que las dimensiones sean correctas apoyando los componentes sobre el papel impreso y controlando las distancias y los tamaños. Si guardamos el archivo como PostScript, comprobamos las opciones de exportación, en particular, que el formato de la página sea A4 y que se encuentra marcada. Efectivamente, el archivo debe ser especular porque así la parte impresa estará en contacto directo con el metal de la placa que se debe grabar.
Los archivos en formato gerber se pueden controlar con el programa gerbview, que forma parte de la suite de gEDA.

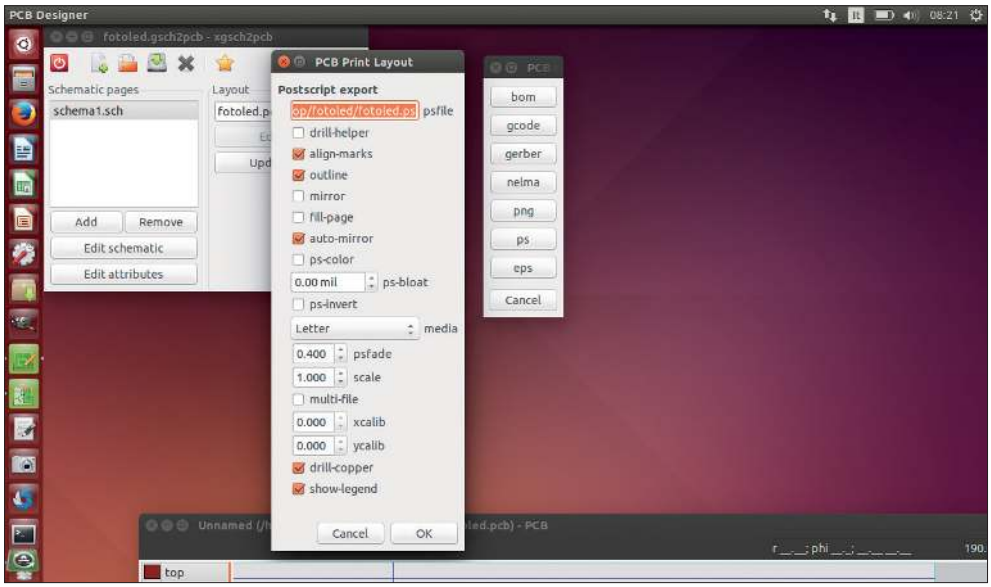


Figura 10.14 – Exportación de los archivos gerber para la producción del circuito impreso.

Tabla 10.1 – Tabla de referencia con las principales teclas de función de gEDA pcb.

Tecla	Efecto
U	Anula la última operación (undo)
M	Desplaza el elemento
B	Desplaza el elemento a la cara opuesta
Supr	Elimina el elemento
E, R	Gira el elemento
E, I	Refleja el elemento
E, C	Copia
E, E	Modifica los atributos
E, A	Añade un atributo
Tab	Gira la placa rotándola sobre el eje horizontal
Mayús+Tab	Gira la placa rotándola sobre el eje vertical
Ctrl+Mayús+Tab	Invierte el lado de los componentes con el lado de las soldaduras
K	Aumenta el espacio de guardia en torno a un elemento (clearance)
Mayús+K	Reduce el espacio de guardia en torno a un elemento
L	Aumenta el grosor de una línea
Mayús+l	Reduce el grosor de una línea
Alt+S	Aumenta el diámetro del orificio

Tecla	Efecto
Alt+Mayús+S	Reduce el diámetro del orificio
Z	Aumenta el zoom (zoom)
Mayús+Z	Reduce el zoom

Fritzing

Fritzing es un programa muy sencillo para diseñar circuitos. Tiene una interfaz gráfica muy clara, agradable e intuitiva. Es gratuito y cualquiera es capaz, en pocos minutos, de diseñar un circuito con esta herramienta porque el diseño se lleva a cabo de un modo especial, es decir, no con símbolos electrónicos o pistas de un circuito impreso, sino con elementos visuales y muy realistas. Diseñar un circuito con Fritzing es parecido a construirlo de verdad. Fritzing está disponible para Linux, Mac y Windows.

El programa nació para ayudar a artistas, diseñadores, profesores y estudiantes a diseñar, realizar y compartir circuitos electrónicos. El diseño de un circuito parte de una placa de pruebas sobre la cual añadiremos las distintas partes y las conectaremos con cables eléctricos, exactamente como haríamos en la realidad. Una vez completado el trabajo sobre la placa de pruebas, podemos pasar a la visualización del esquema eléctrico e, incluso, del circuito impreso. Al finalizar el trabajo de diseño, podemos exportar los archivos para la producción del circuito en formato gerber o pdf. Fritzing ofrece, además, un servicio de impresión *online* del circuito. Con un simple clic, los archivos se envían al sitio del fabricante que, en pocos días, nos enviará a casa el circuito impreso.

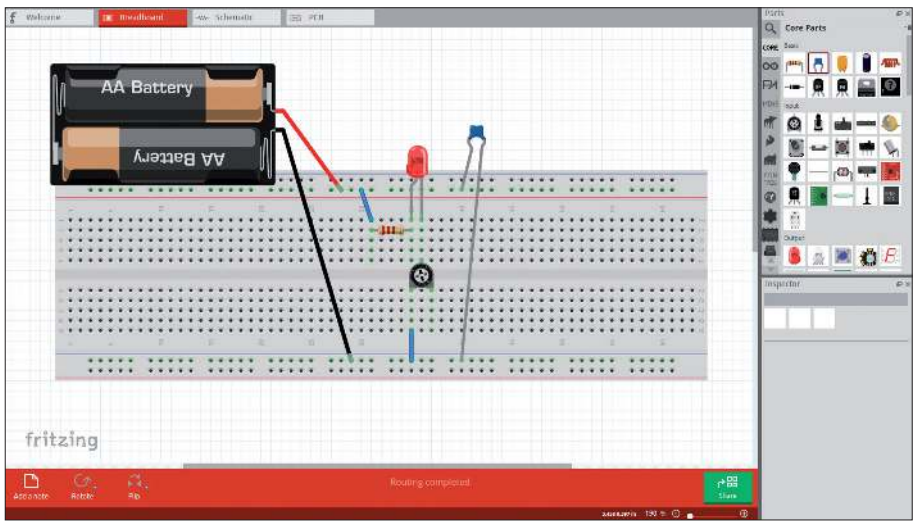


Figura 10.15 – Con el programa Fritzing es fácil componer circuitos electrónicos y crear esquemas eléctricos y circuitos impresos.

La interfaz de usuario de Fritzing tiene tres partes fundamentales:

- Project view – es el área de trabajo principal, en la cual es posible trabajar sobre la placa de pruebas, el esquema eléctrico o el circuito impreso.
- Palette window – se encuentra en la parte derecha de Fritzing y contiene la librería con las partes electrónicas y el panel Inspector, con las propiedades de los componentes seleccionados.
- Part creator – es la herramienta para crear o modificar los componentes. Para abrirlo es preciso seleccionar el componente y elegir la opción **Edit** del menú **Part**.

Para construir un circuito con Fritzing, empezamos con una placa de pruebas sobre la cual arrastramos los elementos elegidos de la librería. Para conectar las distintas partes, utilizamos cables eléctricos. Situamos el cursor sobre un terminal o un orificio de la placa de pruebas, hacemos clic y arrastramos el ratón. Aparece un cable de color. Soltamos el cable sobre otro orificio u otro elemento. Para comprobar las conexiones, situamos el cursor sobre un orificio o una de las conexiones entre cable y elemento y hacemos clic. Todas las partes conectadas quedan marcadas en amarillo o verde.

Figura 10.16 – Detalle del panel de la librería de Fritzing.

Los elementos se pueden mover, copiar y eliminar fácilmente mediante los menús contextuales o las habituales combinaciones de teclas de nuestro sistema operativo.
La librería contiene muchísimas piezas, pero si por casualidad falta alguna, podemos crearla con el editor (Part creator) o utilizar el componente especial *Mistery Part*, una especie de comodín que podemos modificar según nuestras preferencias, indicando número de pines, texto y conexiones.
Podemos cambiar las propiedades de un elemento seleccionándolo con un clic y modificando las opciones en el panel Inspector. Si colocamos un resistor, en este panel podemos modificar su valor, su potencia, su tolerancia y muchos otros parámetros.

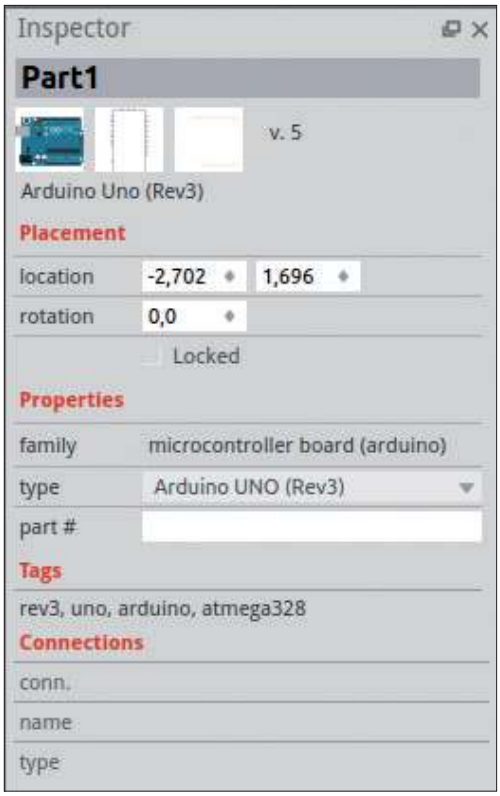


Figura 10.17 – El panel Inspector con el cual se pueden modificar las propiedades de un elemento.

Tras haber compuesto el circuito sobre la placa de pruebas, podemos echar un vistazo a la vista Schematic, donde veremos el esquema eléctrico de nuestro circuito. Probablemente el diseño tendrá un aspecto un poco desordenado. Si queremos compartir nuestro trabajo, será mejor ordenar el diseño alineando los componentes y las líneas de conexión. El trabajo se puede exportar con la función **Export** del menú **File**.

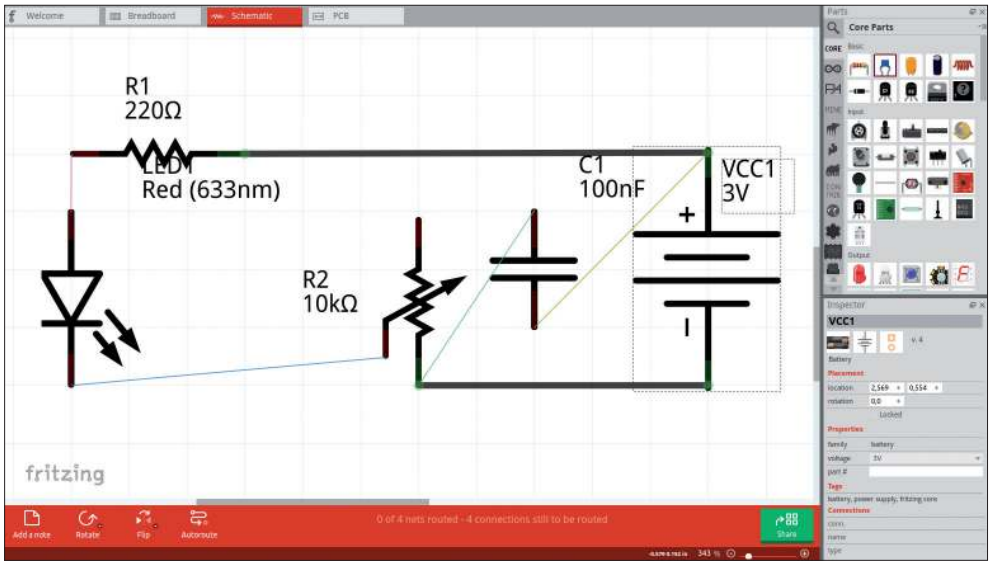


Figura 10.18 – En la vista Schematic podemos trabajar en el diseño del esquema eléctrico del circuito.

Para crear un circuito impreso, se utiliza la vista PCB. Aquí también veremos las huellas de los componentes conectadas por *ratlines*. Debemos intentar colocar las distintas partes de manera que los cruces y las superposiciones sean siempre mínimos.

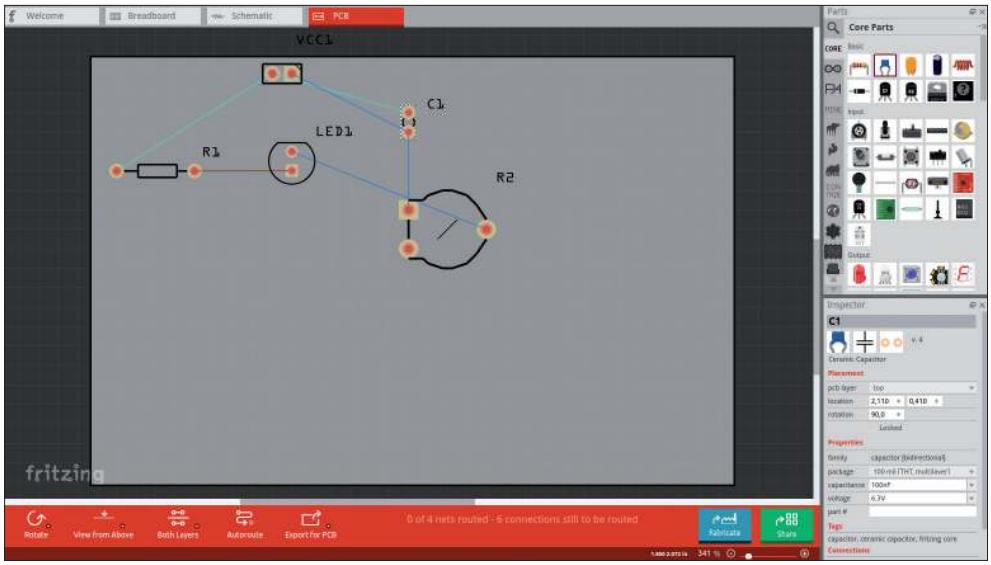


Figura 10.19 – Antes de trazar las pistas del circuito impreso, colocamos los componentes de manera que las *ratlines* no queden demasiado enredadas.

Una vez conseguido un buen resultado, pulsamos el botón **Autoroute** (en la barra de herramientas inferior). Fritzing calculará las pistas y conectará todas las partes. Las pistas, a diferencia de gEDA, permanecen pegadas a las huellas, por lo que podemos modificarlo todo fácilmente. Cuando estemos satisfechos con nuestro trabajo, podemos exportar los archivos para su impresión en formato pdf gerber, o bien enviarlos al servicio de fabricación de Fritzing.

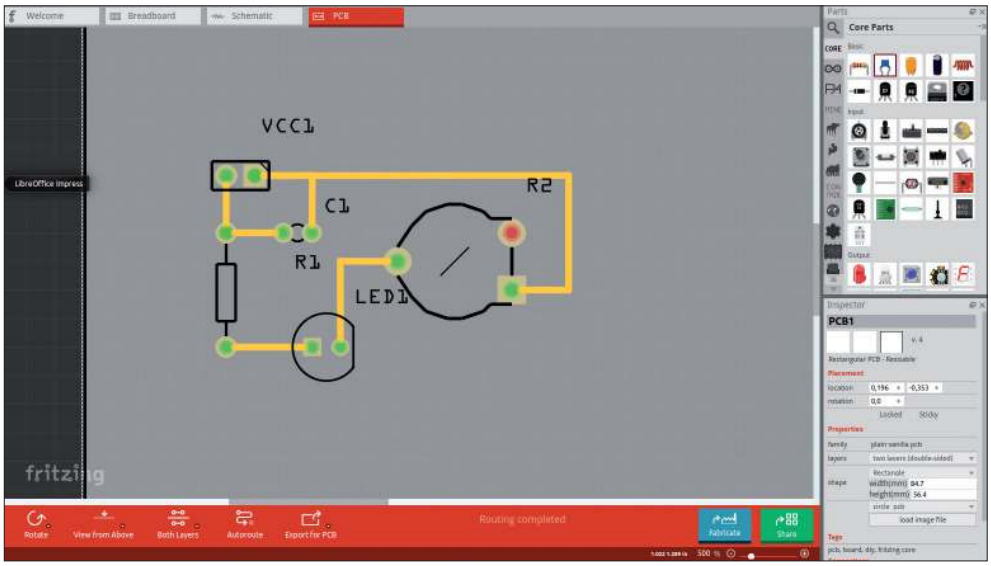


Figura 10.20 – Autoroute sustituye las *ratlines* por las pistas. Algún ajuste más... ¡y el circuito impreso estará listo!

Realizar un circuito impreso en casa

Producir un circuito impreso en casa no es nada complicado. Es un poco como elaborar fotos en blanco y negro (y mientras estoy escribiendo me doy cuenta de que esto es cosa de otros tiempos). El procedimiento es bastante sencillo y requiere solo unos cuantos minutos, como máximo una hora, incluidas las pausas necesarias para que los circuitos se desarrollen y se formen.

Son tres los pasos necesarios:

- Imprimir una placa de cobre, sensible a la luz, con el diseño del circuito.
- Fijar la imagen en la placa.
- Eliminar el material sobrante.

NOTA

Todas las operaciones descritas utilizan reacciones químicas de varios tipos y sustancias químicas peligrosas, que deben manipularse con extrema cautela y obligan a tomar las precauciones oportunas, como guantes de goma y gafas.

Imprimir la placa

Con gEDA o Fritzing hemos producido el diseño del circuito que queremos imprimir. El diseño se denomina también *master* y debemos imprimirlo en un papel, mejor si es con una impresora láser. El papel no debe ser demasiado grueso y la tinta debe ser oscura y precisa, que no se corra. Lo mejor sería imprimir el diseño sobre transparencias, pues el papel normal, aunque no parece transparente, lo es para la luz ultravioleta utilizada para imprimir la placa de cobre. Los resultados son óptimos.

La placa sensibilizada (código RS: 159-6057) es una pequeña placa de fibra de vidrio recubierta por una cara de una fina capa de cobre tratada con un barniz especial. Antes se podían comprar placas de cobre económicas sobre las cuales se pulverizaba un compuesto denominado fotorresistente. Preparar las placas de este modo es muy barato, pero si el compuesto fotorresistente no se deposita de forma regular sobre ellas se pueden obtener resultados imprecisos e irregulares. Las placas presensibilizadas garantizan siempre resultados óptimos porque el compuesto fotorresistente se deposita de forma regular sobre la superficie del cobre.

Las placas tienen varios grosores, siendo el más común de 1,6 mm. Antes había también placas de baquelita, un material amarillento y más económico, pero la fibra de vidrio es actualmente el material más utilizado.

El compuesto fotorresistente es una sustancia sensible a la luz, razón por la cual las placas presensibilizadas deben mantenerse en la oscuridad y tienen el lado de cobre protegido por una película de plástico espesa y opaca. Si el compuesto fotorresistente se ilumina con luz ultravioleta, se neutraliza dejando al descubierto el cobre. En las zonas no iluminadas, permanece una película opaca que protege el cobre.

Para imprimir la placa se utiliza una impresora de contacto, es decir, una sencilla máquina que contiene lámparas de luz ultravioleta (UV) situadas debajo de un plano transparente sobre el cual se apoyan el máster y la placa. La impresora de contacto se puede adquirir o construir utilizando, por ejemplo, un viejo escáner. La conexión de las lámparas es sencilla, pero hay que estar atentos porque están alimentadas a 220 V. Para encender las lámparas de neón, se necesitan un reactor y un motor de arranque o *starter*, piezas que podéis encontrar en cualquier tienda de material eléctrico. La impresora de contacto puede completarse con un temporizador para regular los tiempos de exposición. Si decidís construir vosotros mismos la impresora de contacto, pedid ayuda a un electricista o a una persona experta y cualificada.

Figura 10.21 – Una impresora de contacto creada con un viejo escáner en el cual se han colocado dos tubos UV.

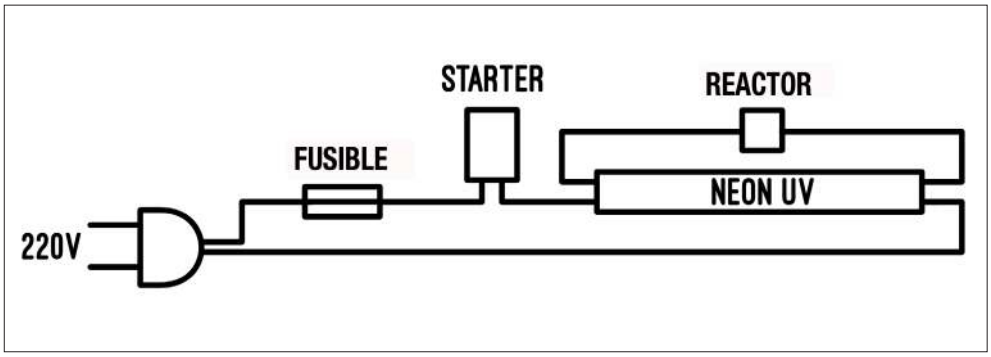


Figura 10.22 – Esquema eléctrico para la conexión de los tubos de neón UV.

Para imprimir la placa:

1. Imprimimos el *master* en papel, comprobando que hemos seleccionado la opción **mirror** (no debemos imprimir las pistas como las vemos en la pantalla, sino como si estuvieran reflejadas).
2. Comprobamos que el papel esté liso, limpio y la cara de impresión nítida.
3. Colocamos el papel del *master* con la cara mirando hacia arriba.
4. Extraemos la película protectora de la placa.
5. Apoyamos la placa con el lado de cobre hacia abajo, en contacto con el *master*.
6. Cerramos la impresora o colocamos dos pesos sobre la placa para que quede bien adherida.
7. Encendemos las lámparas el tiempo que sea necesario.

NOTA

Mientras la impresora está funcionando, no debemos mirar nunca directamente a la luz UV de las lámparas, porque es perjudicial para los ojos.

El tiempo de exposición depende de la potencia de las lámparas y, para regularlo, podemos hacer una impresión de prueba que descubriremos cada treinta segundos. Con esta prueba tendremos una idea precisa de los tiempos que debemos utilizar.
Mi impresora de contacto con dos lámparas de 16 vatios necesita un tiempo de exposición de unos siete minutos con el *master* impreso en papel.

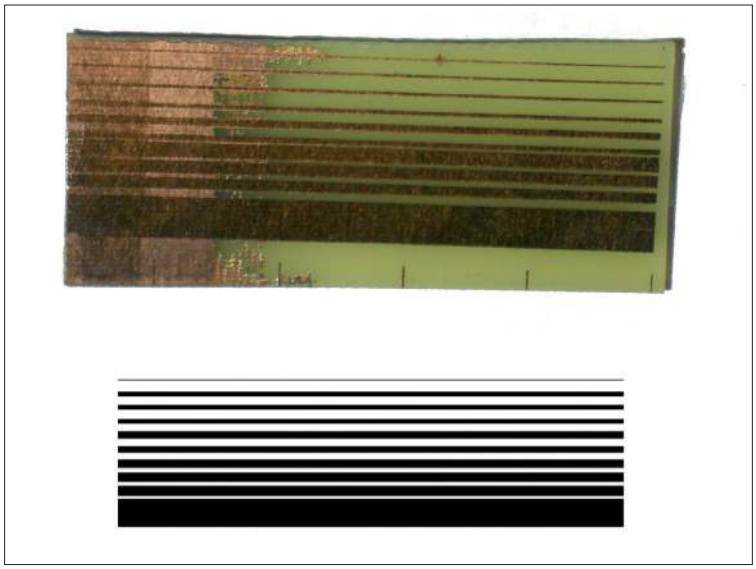


Figura 10.23 – Prueba para controlar los tiempos de exposición que utilizará la impresora de contacto.

Cuando termina la exposición, apagamos las lámparas y sacamos la placa con mucho cuidado de no rayarla o dañarla. En la superficie de cobre se pueden ya entrever las líneas impresas.

Fijación

A continuación, debemos preparar el baño de fijación. Para la fijación se utilizan sales de hidróxido de sodio (soda cáustica) o un desarrollador de silicato de sodio (catálogo RS: 690-849). ¡**La soda cáustica es muy peligrosa!** Debemos manipularla con **guantes de goma y gafas**. Nunca debe tocarse con las manos, ni siquiera si es granulada.
Para el baño de revelado debemos preparar una solución de agua y soda. Las cantidades dependen del fabricante de soda, indicadas en el paquete. Por ejemplo, para la que yo tengo en casa, tengo que poner 5 gramos de soda en 100 ml de agua.
Se necesitan vasos de plástico para verter el líquido y depositarlo en la placa y pinzas de plástico para manipular la placa sin tocar el líquido.
El tiempo de revelado depende también en este caso de muchos factores, como el tipo y el grosor del compuesto fotorresistente, la concentración del baño de revelado o la temperatura de los líquidos. Por norma general, después de que la placa esté aproximadamente un minuto sumergida en el baño (transparente), se verán filamentos de tinta que salen de ella y las zonas con las pistas se oscurecen progresivamente. Se puede extraer la placa cuando veamos que ya no sale más tinta y los trazos son todos muy evidentes y nítidos. Debemos evitar estar con la nariz sobre la placa para ver lo que ocurre, inhalando a pleno pulmón los vapores de la soda. Al finalizar el baño, lavamos la placa con fuerza. El baño de fijación con el hidróxido se conserva durante unas veinticuatro horas, por lo que, si no tenemos otras impresiones programadas, debemos guardar los líquidos en una botella de cristal o de plástico y los llevamos a un punto de recogida de residuos (¡no se tira ni en el váter ni en los contenedores de basura!).

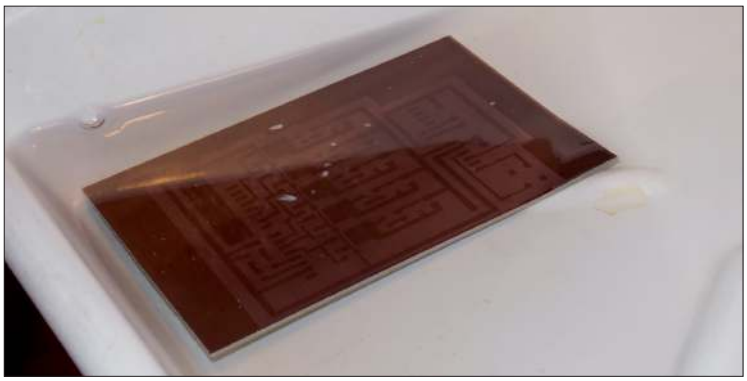


Figura 10.24 – Baño de revelado con soda cáustica de la placa.

Grabado

Para el grabado, se utiliza un baño de cloruro de hierro (III). El cloruro de hierro (III) (catálogo RS: 237-5413) es también una sustancia química poco saludable, que entre otras cosas puede echar a perder tejidos con manchas amarillas indelebles. Con el cloruro de hierro (III) también se deben utilizar guantes, gafas y protecciones para la ropa. El baño se prepara con las concentraciones indicadas por el fabricante. El cloruro de hierro (III) corroe las partes de la placa que no están cubiertas de material fotorresistente. El proceso requiere unos diez minutos. Si la solución está ligeramente caliente a unos 20/30 °C, la reacción es más rápida, pero no debemos calentarla a más de treinta grados para no degradar el líquido. Para reducir este tiempo, también se puede remover el líquido con un agitador o una simple varita. Se pueden comprar cajas para el grabado que calientan la solución y la agitan, de manera que siempre tengamos solución fresca en contacto con el cobre y que el proceso sea mucho más rápido.

El grabado finaliza cuando se ha eliminado todo el cobre sobrante. Si queda alguna zona sin grabar, podemos intervenir sobre ella con un poco de algodón empapado de solución, frotando suavemente.

En cuanto todos los trazos sean visibles y el cobre haya sido eliminado, extraemos la placa y la lavamos con agua corriente. Antes de utilizarla, debemos eliminar el material fotorresistente que sobra con alcohol o acetona. Como el cloruro de hierro (III) puede ser utilizado varias veces, lo podemos guardar en una botella y conservarlo. Con el tiempo la solución pierde sus propiedades. Cuando las haya perdido todas, debemos llevarla a un punto de recogida de residuos para que sea eliminado.

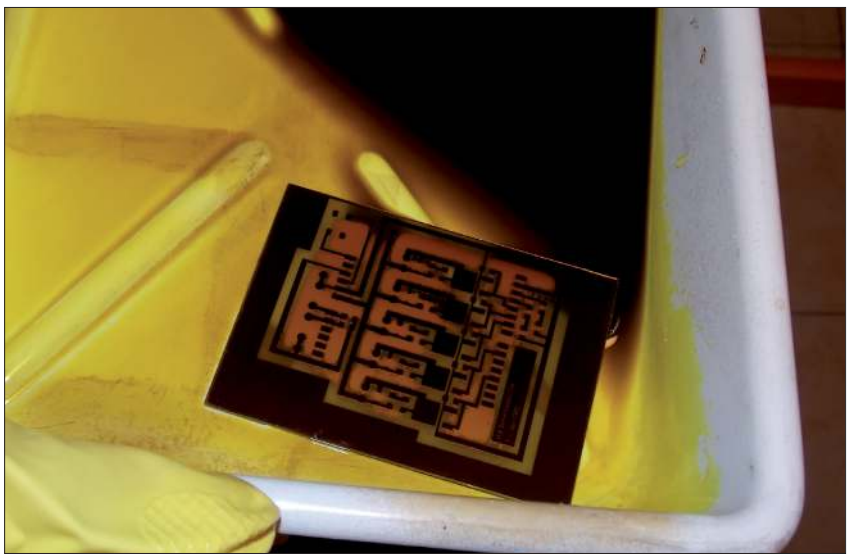


Figura 10.25 – Baño de grabado con cloruro de hierro (III).

Perforación

La última operación es la perforación de la placa. Para ello utilizamos un dremel o un taladro con la punta adecuada, de 0,7 a 1 mm. Si podemos utilizar un taladro de columna, los orificios serán más precisos. Antes de soldar las partes, limpiamos la superficie con papel de vidrio muy fino. ¡El circuito ya está listo!

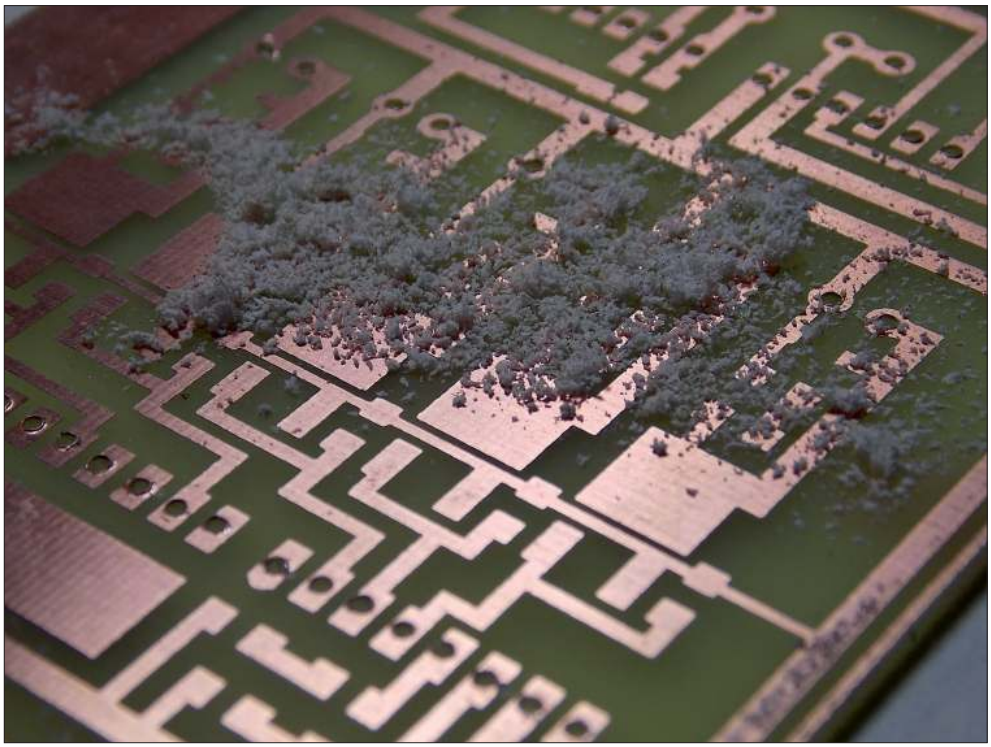


Figura 10.26 – El circuito impreso perforado está listo para la soldadura de los elementos.

Los circuitos caseros tienen una sola cara. Para realizar circuitos a doble cara, se necesitan equipos y técnicas que no están al alcance de los aficionados. Sin embargo, es posible fabricar placas de varios niveles utilizando placas sensibilizadas de grosor mínimo (por ejemplo, 0,4 milímetros) que pueden ser desarrolladas por separado y, después, apiladas a modo de bocadillo. Las conexiones entre las placas se deben realizar a mano, creando las vías con pequeños fragmentos de cable soldados sobre ambas placas.

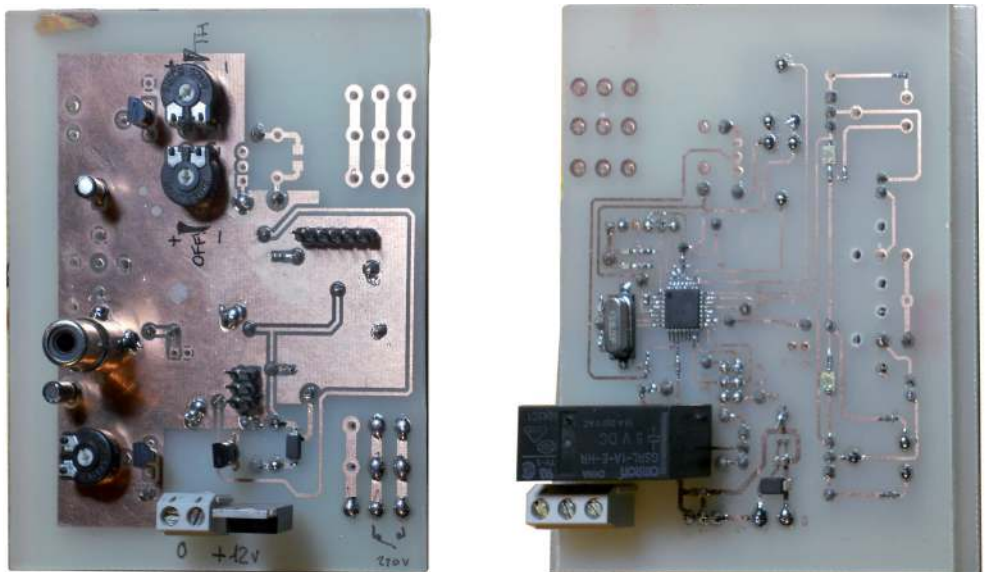


Figura 10.27 – Circuito impreso de doble cara creado con la técnica del bocadillo.

Consejos para la impresión en casa

Cuando se diseñan circuitos impresos caseros, es preciso tener en cuenta algunas limitaciones tecnológicas. Estas indicaciones no son válidas si se utiliza un servicio de impresión profesional. En este caso, debemos dirigirnos al sitio web del fabricante, que proporciona medidas mínimas y características del diseño: grosor, diámetros, número de niveles, etc.

Con el tiempo he ido recogiendo una serie de indicaciones para obtener buenos resultados en la impresión casera:

- Las islas que serán perforadas con un taladro no pueden ser demasiado finas, si no la punta del taladro la romperá. En la fase de diseño, las islas deben, pues, hacerse más gruesas (tecla **S** con gEDA pcb).
- Las pistas no pueden ser demasiado finas. El grosor se expresa en mils y el valor mínimo es de unos 12/14 mils. Si no es imprescindible, debemos utilizar grosores mayores.
- Las pistas no pueden estar demasiado cerca unas de otras.
- Allí donde haya cables de contacto o las islas de un conector, se debe intentar dejar un espacio entre las islas y, si son estrechas, evitar que pasen las pistas entre las islas.
- Si ampliamos el grosor de la isla, aumentamos también el diámetro del orificio.

Una alternativa para realizar circuitos impresos es el uso de una fresa CNC. Actualmente muchas de las impresoras 3D pueden ser convertidas en fresas CNC capaces de producir circuitos impresos a partir de archivos gerber o vectoriales (pdf, svg). La ventaja de la fresa es que es menos peligrosa que los baños químicos y que no necesita tres pasos para producir el circuito. El coste de una máquina CNC es, sin embargo, mucho mayor respecto al de las sustancias químicas y con el fotograbado podemos conseguir definiciones mucho mayores.

11

Proyectos didácticos

Os presento una recopilación de proyectos útiles y esenciales para completar la práctica y adquirir un poco de experiencia con resistencias y transistores. Circuitos para controlar un led, amplificar señales y crear sencillos y divertidos gadgets e, incluso, una radio.

En este capítulo he pensado presentar una serie de circuitos electrónicos sencillos de dificultades distintas para profundizar en algunos conceptos descritos en el libro y ver aplicada la teoría electrónica que hemos ido encontrando a lo largo de los capítulos anteriores.
Para llevar a cabo los proyectos presentados, no se necesitan muchas herramientas, solo nuestra fiel placa de pruebas, algún destornillador, pinzas para insertar componentes y un tester.
Para realizar los circuitos sobre placas perforadas necesitaremos un soldador adecuado y estaño: ¡cuidado si utilizáis el soldador que tiene una punta a 300 °C!
Puede que los proyectos no funcionen a la primera. No os desaniméis enseguida, intentad averiguar con paciencia qué ha ocurrido. Si tenéis problemas, comprobad atentamente todas las conexiones eléctricas y aseguraos de haber utilizado los componentes correctos de forma correcta. ¿Hemos insertado ledes e diodos en el sentido correcto?
Si se dispone de transistores o chips, comprobad si se sobrecalientan y, si tenéis dudas sobre su integridad, los sustituís.
En ocasiones, los *jumpers* gastan bromas pesadas; parecen intactos, pero si los comprobáis con un tester puede que estén rotos. Debéis comprobar que las pilas y las baterías estén cargadas, así como que haya alimentación.

No deis nada por descontado y analizad la situación de arriba a abajo.
Utilizamos el mismo enfoque cuando se reparan dispositivos electrónicos. Se necesita un análisis profundo del problema y un enfoque lógico y lineal. Si la cosa sigue sin funcionar, podría ser el momento de tomarse un respiro y retomar el problema al día siguiente. Con la mente descansada las cosas serán mucho más claras.
¡A divertirse!

Ledes intermitentes

Este sencillo circuito enciende dos ledes de forma alterna utilizando dos únicos transistores NPN. Se puede realizar con los componentes indicados o con lo que tengáis en el cajón, adaptándolo según vuestras necesidades, precisamente porque se trata de un circuito simple y de funcionamiento seguro.
Para construirlo necesitamos:

- dos transistores NPN 2N2222 o equivalentes,
- dos ledes,
- dos resistores de 390 Ω,
- dos resistores de 100 KΩ,
- dos condensadores electrolíticos de 10 uF a 16 V,
- una placa de pruebas,
- una pila de nueve voltios con clip,
- *jumpers* o cables para las conexiones.

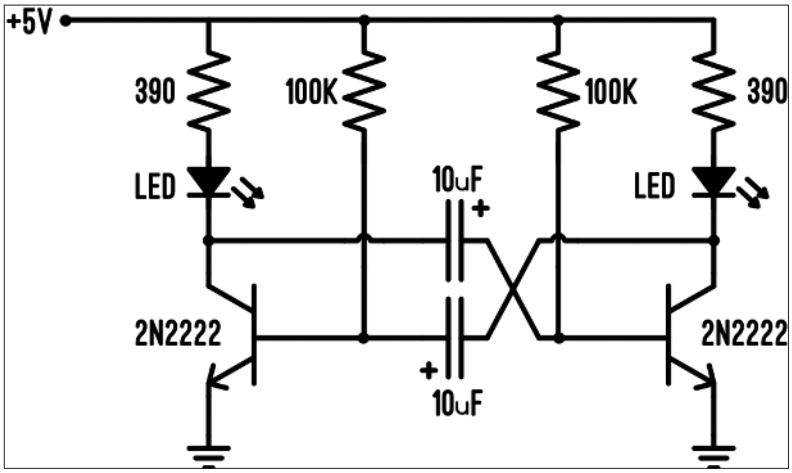


Figura 11.1 – Esquema eléctrico del circuito con dos ledes intermitentes.

El funcionamiento es muy sencillo: en cuanto se aplique la tensión de alimentación, la corriente fluirá en las resistencias de 100 K llegando hasta las bases de los dos transistores. Puesto que las resistencias y los transistores no son nunca exactamente iguales, la corriente llegará a una de las dos bases antes que a la otra. Supongamos que llega primero a la base del transistor de la derecha.
El transistor entrará en saturación y el terminal del condensador electrolítico conectado a su conector estará prácticamente a 0 voltios. El otro extremo del condensador está conectado mediante un led y una resistencia de 390 Ω a la tensión de alimentación y, por tanto, empezará a cargarse. Una vez el condensador se haya cargado, su terminal que está conectado a la base del transistor de la izquierda alcanzará un valor parecido a la tensión de alimentación, haciendo que el transistor entre en saturación y empezando de nuevo el ciclo.

Para modificar la frecuencia de parpadeo de los ledes, podéis modificar los valores de las resistencias conectadas a la base y de los condensadores electrolíticos. Con los valores sugeridos, el tiempo es aproximadamente de 1 segundo. Existe una fórmula que puede ayudar a determinar de manera más o menos precisa el tiempo de encendido:

$$t = \frac{RC}{700}$$

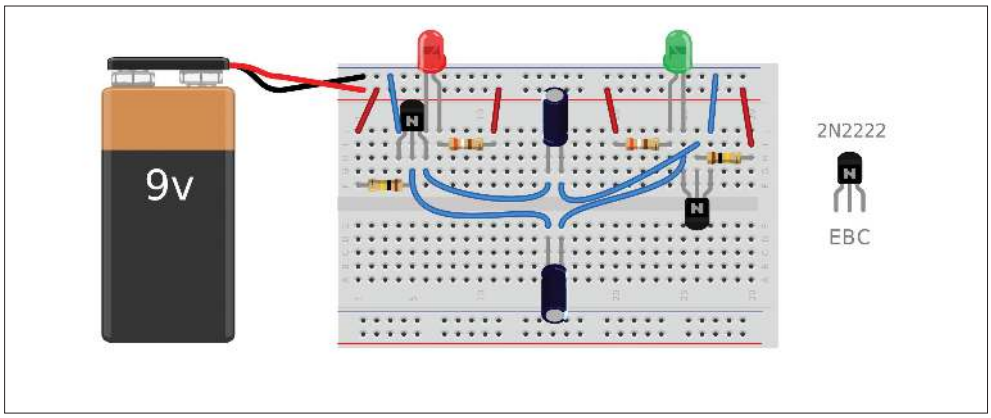


Figura 11.2 – Montaje sobre la placa de pruebas.

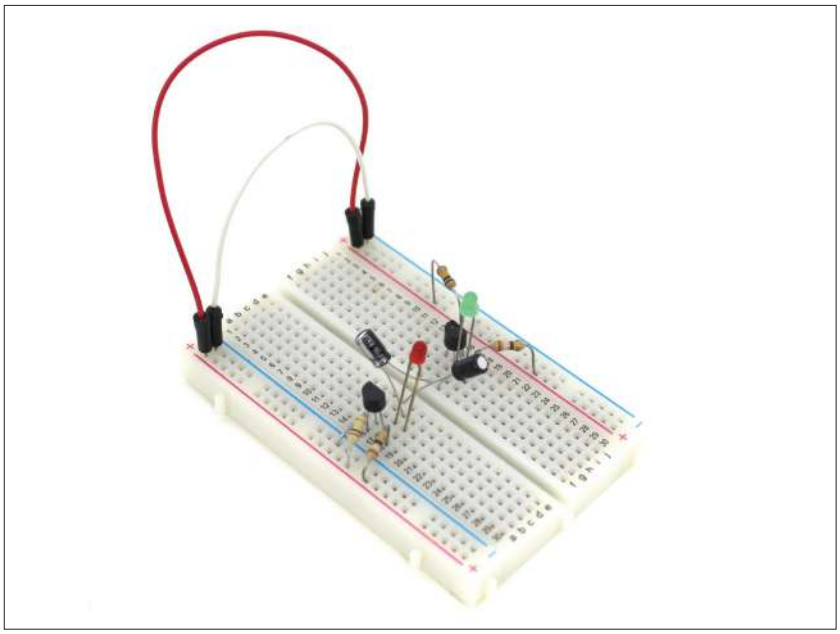


Figura 11.3 – Foto del circuito.

¿Qué hacer si se necesita solo un led? Podéis modificar el circuito sustituyendo uno de los dos ledes con una resistencia de algún kΩ.

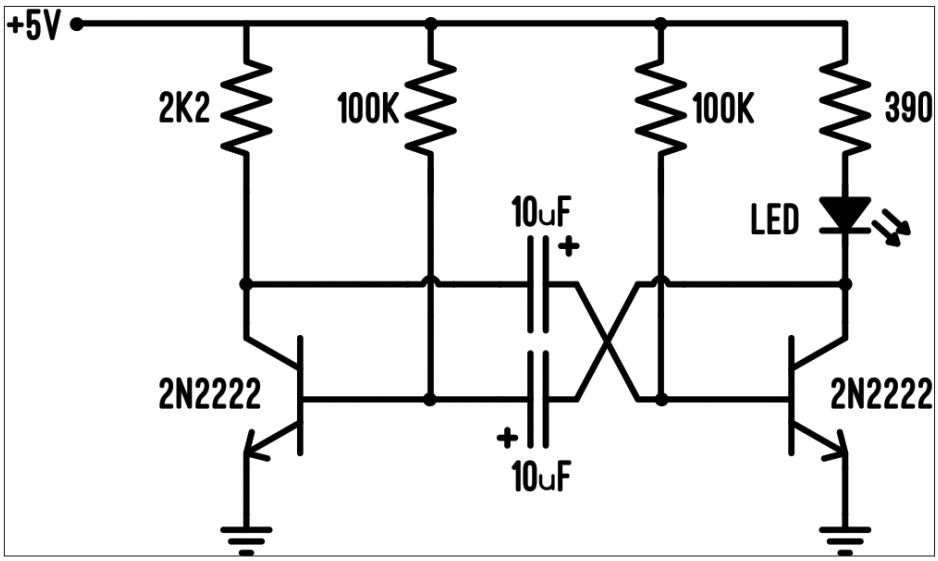


Figura 11.4 – Esquema eléctrico del circuito con un led parpadeante.

Estos simples circuitos se pueden realizar sobre una placa de pruebas, aunque si se desea utilizarlos en instalación conviene montarlos sobre una placa perforada soldando los componentes.

Tester de estrés

Este sencillo circuito mide el nivel de estrés y lo muestra haciendo parpadear un led más o menos rápidamente. Si apoyamos el dedo sobre un par de sensores, podremos ver al instante si estamos relajados o no. El circuito mide la resistencia de la piel y la utiliza para variar la frecuencia de parpadeo de un led. La resistencia de la piel tiene un valor de unas decenas de megaΩ, que tiende a disminuir si estamos nerviosos o poco relajados. El circuito nos da una medida absolutamente precisa y debe ser utilizado como un simple gadget, aunque los más malos podrían pensar en utilizarlo como máquina de la verdad. Los componentes son pocos y el circuito no es para nada crítico. Debemos prestar atención a la realización de los sensores de contacto, que deberían construirse con dos fragmentos de cable desnudo colocados aproximadamente a un 1 cm de distancia. La tensión de alimentación puede ir de 5 voltios hacia arriba y no existe ningún riesgo de sufrir descargas eléctricas si tocamos los sensores.
Para realizarlo se necesitan:

- dos transistores NPN BC547B o equivalentes,
- un led,
- dos resistores de 1 kΩ,
- un resistor de 100 KΩ,
- dos condensadores electrolíticos de 1 uF a 16 V,
- una placa de pruebas,
- una pila de nueve voltios con clip,
- *jumpers* o cables para las conexiones.

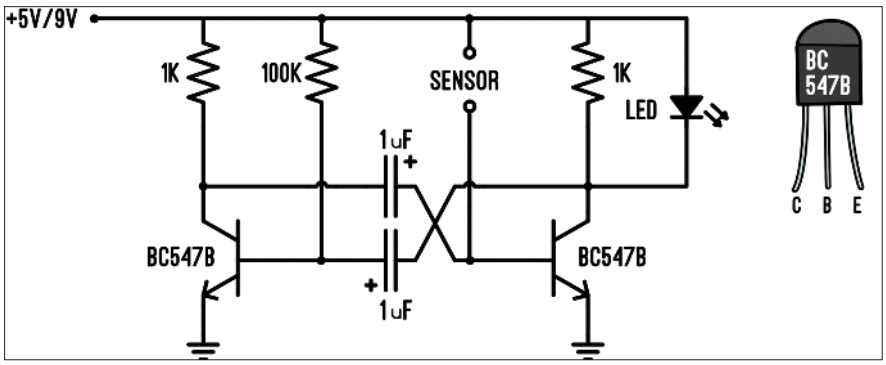


Figura 11.5 – Esquema eléctrico del circuito

El esquema eléctrico es muy parecido al del intermitente para led del primer ejemplo. De hecho, el principio de funcionamiento es idéntico. Esta vez utilizaremos transistores diferentes con un beta cuatro veces superior respecto a los 2N2222. El transistor de la derecha (en la figura 11.5) está conectado al sensor para la piel y estará inhibido hasta que no apoyemos el dedo en el sensor. Si tenemos las manos secas, podría ser necesario ejecutar un poco de presión sobre el sensor. Para probar el circuito, también podemos tocar el sensor con una resistencia de algún kΩ. Podemos realizar el medidor de estrés sobre una placa de pruebas o bien sobre una placa perforada, prestando mucha atención a la soldadura de los transistores, tratando de no sobrecalentarlos para no dañarlos. Se debe trabajar rápidamente, sin detenerse demasiado tiempo en las soldaduras y protegiendo el transistor durante la operación, tocando sus terminales con una pinza o un destornillador para dispersar el calor.
Los más perezosos pueden comprar un led intermitente que contiene dentro de la tapa del led el circuito completo para hacerlo parpadear a una frecuencia predeterminada. El aspecto exterior es idéntico al de un led común.

Led controlado por luz

Hace unos años quedé fascinado por un proyecto realizado por PROJECTiONE, un estudio de creación y diseño digital. El proyecto se denominaba plyLight (http://www.projectione.com/plylight/) y era una mesa de madera en cuya tabla se habían introducido 44 pequeños circuitos que controlaban varios ledes. Al pasar la mano sobre la mesa, las luces se encendían creando un efecto maravilloso. Los circuitos, realizados a mano sobre placas perforadas, estaban insertados en la parte anterior de la tabla de la mesa, que había sido perforada con una fresa. Observando la mesa no se intuía la presencia de los ledes porque en los puntos en los cuales se habían colocado no había orificios. La transparencia se realizó reduciendo el grosor, pero sin perforar la mesa. En el sitio web del proyecto no aparecen informaciones útiles para duplicar el circuito y, por tanto, he tratado de reconstruirlo aquí como práctica.
Cada circuito controla tres ledes de alta intensidad que se encienden cuando la fotorresistencia se oscurece. Los ledes se apagan muy lentamente creando un efecto luminoso persistente y muy bonito.
Para reconstruir el circuito, he probado antes que nada a estudiar un método para retrasar el apagado de un led. Para encender un led con 5 voltios basta con conectarlo a una resistencia adecuada (por ejemplo, de 390 Ω) y a un botón. De este modo, al pulsar el botón el led se enciende y después se apaga inmediatamente. ¿Cómo podemos mantenerlo encendido durante más tiempo?
Insertamos un condensador, de manera que al pulsar el botón el condensador se cargue y pueda posteriormente suministrar corriente al soltarlo. Para tener un efecto per-

sistente, se necesita un condensador con capacidad de al menos 100 microfaradios. Mejor si tiene 470 o 1000 microfaradios y es, por tanto, de tipo electrolítico, porque solo estos componentes alcanzan estos valores.

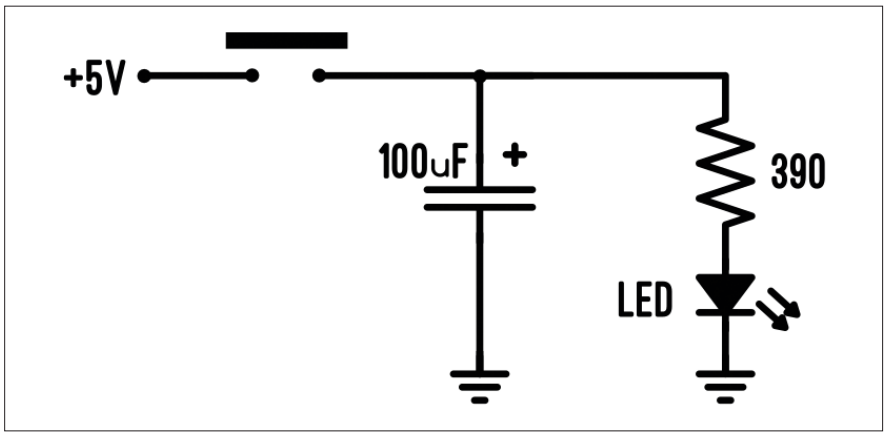


Figura 11.6 – Esquema eléctrico del circuito para ralentizar el apagado del led.

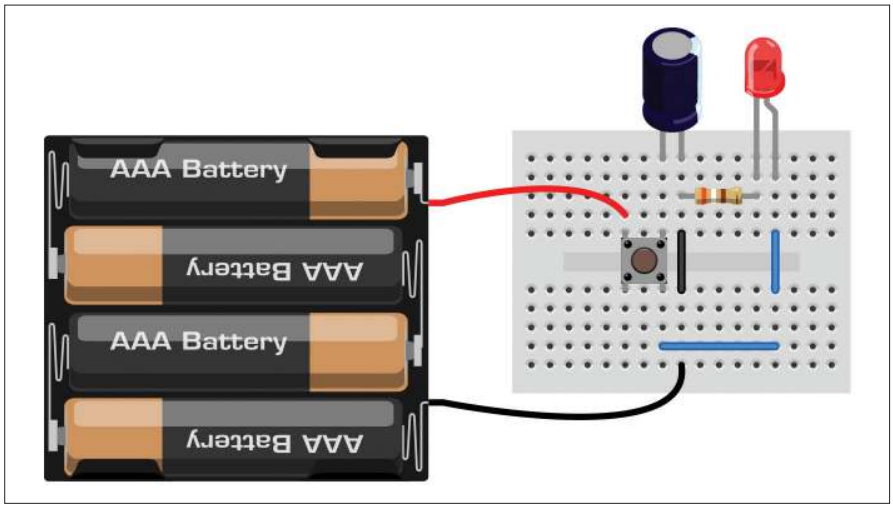


Figura 11.7 – Montaje sobre una placa de pruebas del led de apagado lento.

Seguidamente, es necesario añadir un sensor que detecte cuando una mano sombrea el circuito. Para ello, podemos utilizar una fotorresistencia. La fotorresistencia sola no basta, por lo que la conectaremos a un divisor y, después, a un transistor. Cuando la cantidad de corriente suministrada por el divisor varíe, el transistor pasará de la saturación a la interdicción, creando un interruptor controlado por la luz.

En el esquema eléctrico de la figura 11.8 podemos observar, a la izquierda, el divisor de tensión con la fotorresistencia y una resistencia variable (realizada con un trimmer), utilizada para modificar la sensibilidad del circuito. En serie al divisor, hay una resistencia de 1 kΩ para evitar que, al ajustar la resistencia variable a cero, pase demasiada corriente en la fotorresistencia. El punto central del divisor está conectado a la base del transistor. La línea de salida del transistor se ha realizado insertando una resistencia de 1 kΩ y tomando la señal del colector.
En condiciones normales, la luz ambiental golpea el sensor, la corriente circula en la base del transistor y lo lleva en saturación, es decir, cierra el interruptor. En esta situación, la tensión tomada al transistor se aproxima a los 0 voltios. Cuando el sensor se oscurece, la corriente alcanza la tensión de alimentación. Así, el circuito se comporta exactamente como deseamos. Si se oscurece, se encenderá el led y en cuanto quitemos la mano dejará de alimentarlo. En el esquema utilizaremos un transistor de tipo darligton (aunque por simplicidad veréis el símbolo de un simple transistor NPN) porque así la ganancia del componente es muy elevada y la corriente para alcanzar la saturación es mínima.

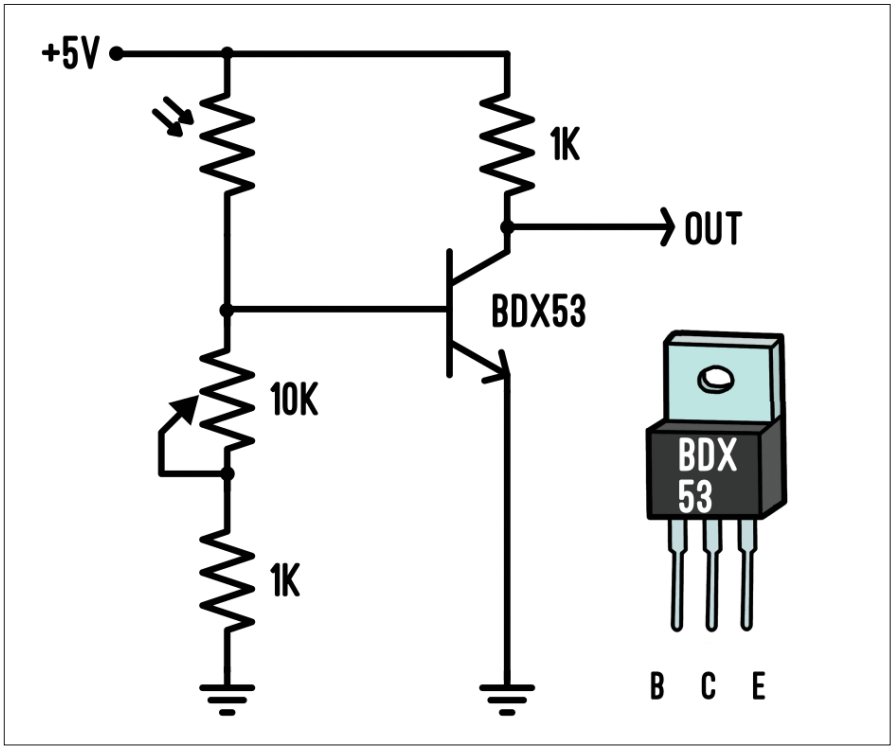


Figura 11.8 – Esquema eléctrico del interruptor controlado por luz.

Ahora solo nos queda combinar las partes y añadir alguna mejora para controlar el led del modo deseado. Para alimentar los ledes, utilizaremos otro transistor que puede controlar la corriente sin extraerla directamente del grupo RC. La señal en salida del transistor Q1 llega a la base del transistor Q2 a través de la resistencia de 1 kΩ para producir la corriente necesaria para el control. La corriente, antes de terminar en la base del Q2, carga el grupo de temporización formado por R1 y C1. Cuando C1 se apague, durante un periodo de tiempo determinado, Q2 permanecerá activo gracias a R1 y C1 y, después, se apagará gradualmente. Si queréis, podéis controlar el tiempo de apagado utilizando una resistencia variable en lugar del R1.

Esta es la lista completa de componentes:

- dos transistores NPN BDX53,
- un led,
- una fotorresistencia,
- tres resistores de 1 kΩ,
- un resistor de 10KΩ,
- un trimmer de 10 KΩ,
- un condensador electrolítico de 100 uF, 16 V.

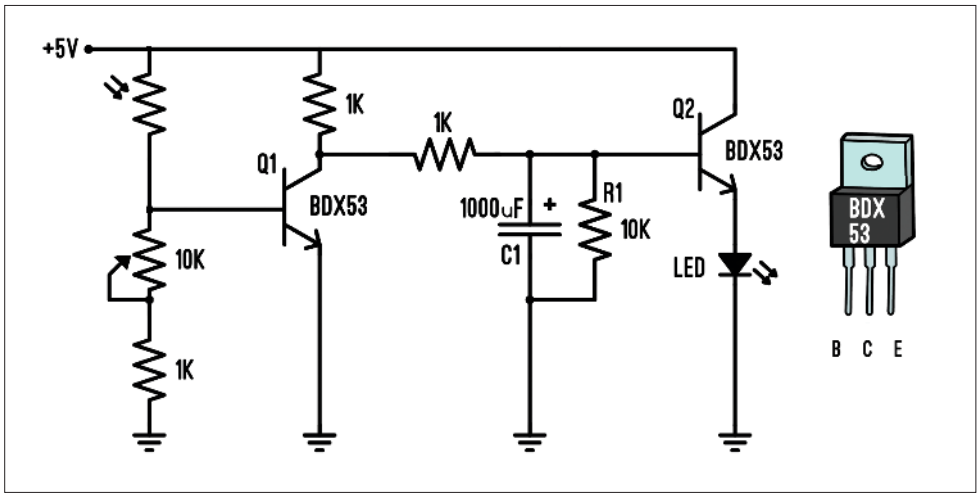


Figura 11.9 – Esquema eléctrico completo del interruptor controlado por luz.

En la figura 11.10 se muestra un posible montaje del circuito sobre una placa de pruebas. La placa está alimentada a 5 V, aunque, por motivos gráficos, se ha insertado el dibujo de una pila de 9 V. Si realmente se utilizara una batería de 9 V, sería aconsejable añadir una resistencia en serie al led.

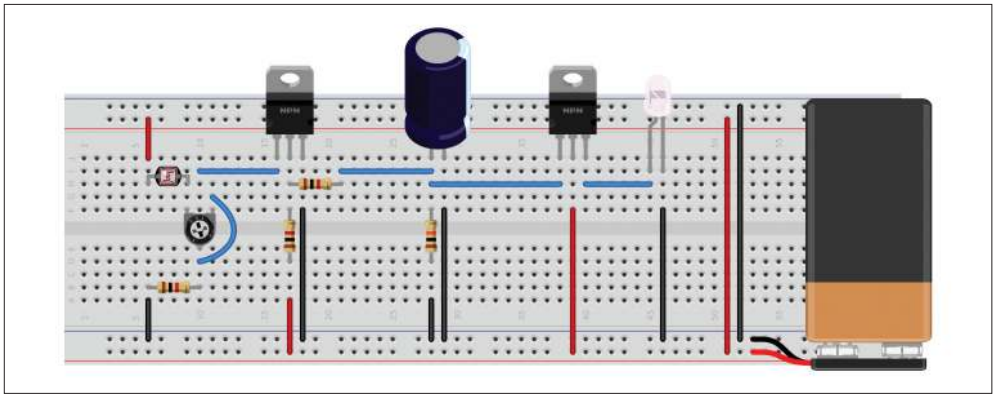


Figura 11.10 – Montaje del circuito sobre una placa de pruebas.

Si queréis, podéis realizar el mismo circuito con un microcontrolador como el ATtiny85. Este chip os permitirá simplificar notablemente el circuito delegando gran parte de la lógica de funcionamiento al *software* (o mejor dicho *firmware*) que debéis cargar en el dispositivo. Este tipo de dispositivos son actualmente muy conocidos y económicos y el coste de la solución realizada con un ATtiny85 es comparable o incluso inferior a la solución discreta.
Para realizar el circuito con un microcontrolador se necesita:

- un ATtiny85,
- un led,
- una resistencia de 390 Ω,
- un fotorresistor de 1 kΩ,
- un resistor de 2,2 KΩ.

El circuito es muy sencillo y podéis observarlo en la figura 11.11. La fotorresistencia está montada sobre el divisor de tensión, en serie con la resistencia de 2,2 kΩ. Los dos extremos del divisor están conectados a tierra y a la tensión de alimentación, que debe ser taxativamente de 5 voltios si no queremos quemar el microcontrolador. El punto central del divisor varía la tensión en la cual se encuentra, según la cantidad de luz que golpea la fotorresistencia. El led de salida está conectado a uno de los pines del microcontrolador mediante una resistencia. Si queréis controlar más ledes de alta luminosidad, sería conveniente conectar un transistor a la salida del ATtiny para no sobrecargar el pin.

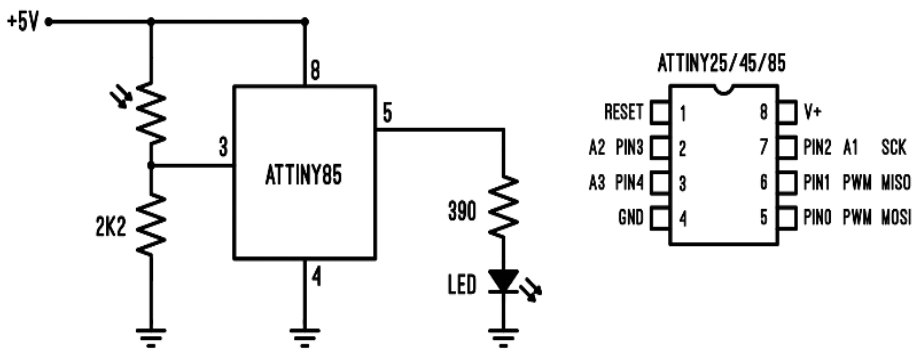


Figura 11.11 – Esquema eléctrico del circuito para controlar la luz del led con un microcontrolador.

La parte más importante del circuito es el *firmware*, es decir, el programa que debemos cargar en el microcontrolador. Para cargar el *firmware* en el ATtiny, consulte el Capítulo 9.
En la cabecera del programa podemos ver una constante que define el valor de umbral en el cual deberá activarse el led de salida.

```
#define UMBRAL 500
```

La constante se puede definir con la directiva `#define`, que se comporta un poco como un marcador. Cada vez que el programa encuentra el texto `UMBRAL`, lo sustituirá por el número 500. Así, los parámetros de control de nuestro prototipo pueden ser recogidos todos en la parte superior del código y es fácil modificarlos sin tener que buscarlos entre las líneas del *software*, las cuales pueden ser muy numerosas.
El umbral ha sido determinado de manera arbitraria, eligiendo un número entre 0 y 1023, el valor máximo que puede leer el ATtiny85. Cada entrada analógica del microcontrolador puede convertir una tensión analógica comprendida entre 0 y 5 voltios en un número entero entre 0 y 5 voltios.
En la sección setup del programa configuramos el pin 0 como salida:

```
pinMode(0, OUTPUT);
```

A continuación, pasamos a apagar el pin para evitar que el led pueda encenderse prematuramente.

```
digitalWrite(0, LOW);
```

La parte de código dentro de la configuración es un poco más compleja. En primer lugar, debemos leer el valor de la tensión que presenta el divisor con la fotorresistencia. El divisor está conectado al pin analógico A3, que corresponde al pin físico 3. La lectura está memorizada en una variable de tipo entero denominada *luz*:

```
int luz = analogRead(A3);
```

Inmediatamente después, controlamos si el valor de la lectura es inferior al umbral predefinido, lo que significa que estamos trabajando sobre la fotorresistencia.

```
if (luz < umbral ) {
```

Si la luz está por debajo del umbral, podemos activar la secuencia de encendido del led. Primero encendemos el led durante 200 milisegundos:

```
analogWrite(0, 255);
delay(200);
```

El encendido del led también podría obtenerse con una `digitalWrite`. Sin embargo, el apagado requiere un control de tipo PWM, que se obtiene mediante la instrucción `analogWrite`, indicando el pin que se debe controlar y la cantidad de luz a ajustar (con un número entre el 0 y el 255).

```
for (int i = 255; i >= 0; i = i-1){
    analogWrite(0, i);
    delay(5);
}
```

La secuencia de apagado se lleva a cabo con un ciclo `for`, que configura una variable `i` a 255 y que va disminuyendo el valor hasta llegar a 0. La luz que produce el led disminuye progresivamente hasta que se apaga. La instrucción `delay` hace que el apagado sea lo suficientemente lento.

Este sería el código completo:

```
#define UMBRAL 500
void setup() {
  pinMode(0, OUTPUT);
  digitalWrite(0, LOW);
}
void loop() {
  int luz = analogRead(A3);
  if (luz < umbral ) {
    analogWrite(0, 255);
    delay(200);
    for (int i = 255; i >= 0; i = i-1){
      analogWrite(0, i);
```

```
      delay(5);
    }
  } else {
    digitalWrite (0, LOW);
 }
}
```

Configurar el umbral podría ser muy incómodo sin saber cuál es el valor que detecta el ATtiny. Podemos eliminar el umbral cableado en el código e insertar un trimmer conectado a uno de los pines analógicos libres, para que podamos modificarlo según nuestras preferencias.
Podríamos realizar otro cambio en el código. Ahora, en cuanto el circuito se sombrea, se inicia la secuencia de encendido y apagado del led. En el circuito discreto, en cambio, el led permanece encendido hasta que hay sombra y el apagado progresivo empieza solo cuando la luz regresa. ¿Cómo se podría modificar el sketch para conseguir este comportamiento?

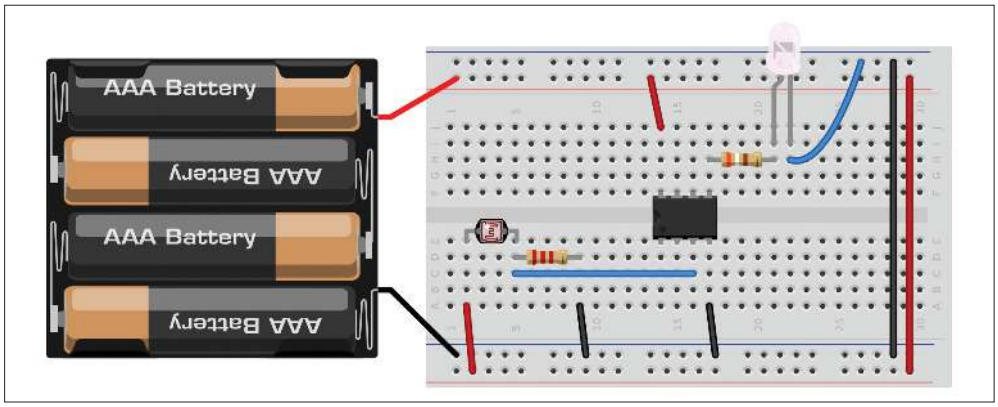


Figura 11.12 – Montaje del circuito sobre una placa de pruebas.

Led de encendido progresivo

Experimentando con ledes y botones, podéis probar este otro sencillo esquema eléctrico, que enciende un led gradualmente al pulsar un botón. El led también se apaga lentamente. El esquema eléctrico de partida es el de un conmutador con transistor al cual se ha agregado un condensador entre la base y el colector del componente. Al pulsar el botón, la corriente empieza a fluir y carga el condensador a través de la resistencia de 220 kΩ. Al soltar el botón, la descarga del condensador ralentiza el apagado del led.
Esta es la lista completa de componentes:

- un transistor NPN BC547B o similar,

- un led,
- un pulsador normalmente abierto,
- un resistor de 390 Ω,
- un resistor de 220 KΩ,
- un condensador de 1 uF.

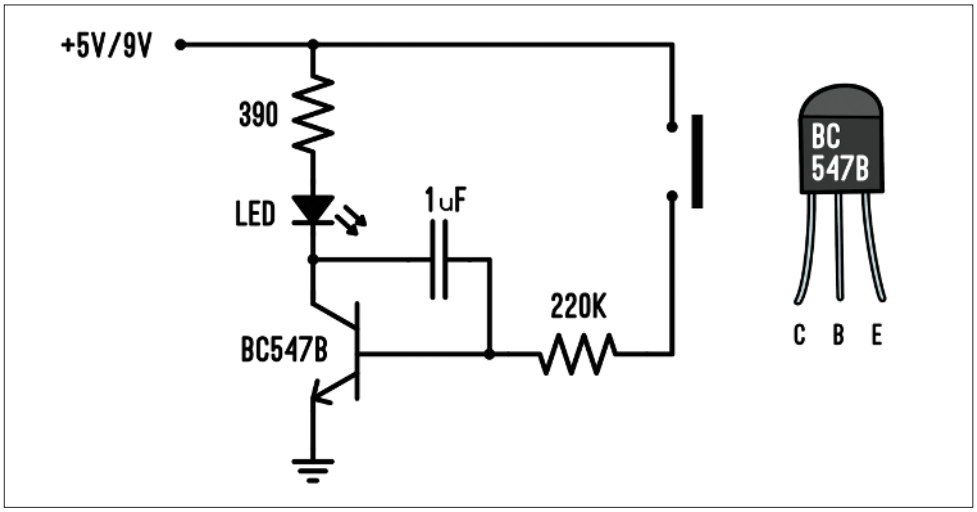


Figura 11.13 – Esquema completo del circuito led progresivo.

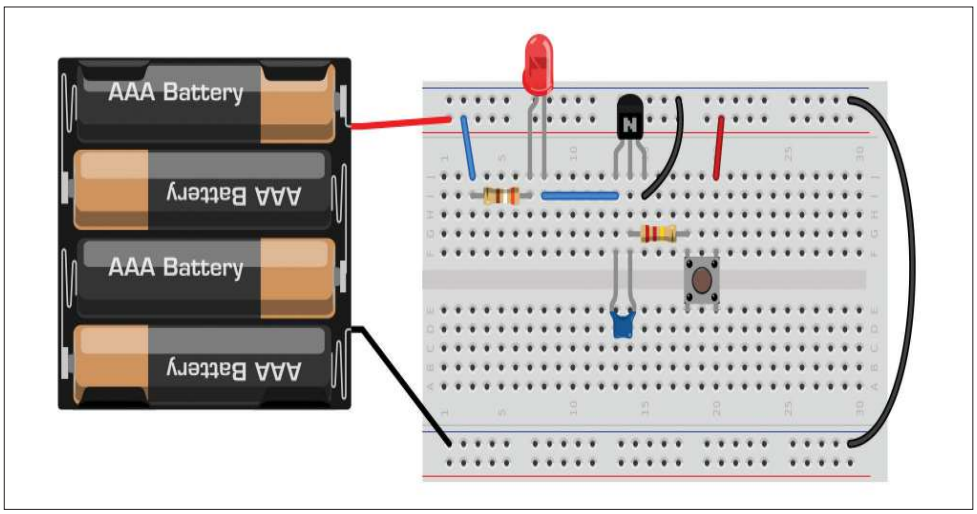


Figura 11.14 – Montaje del circuito led progresivo sobre una placa de pruebas.

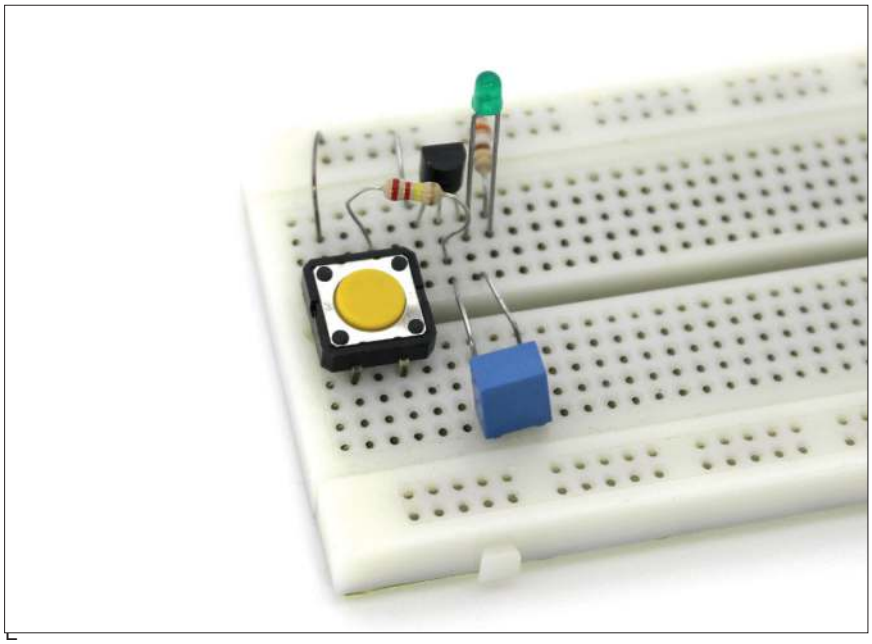


Figura 11.15 – El circuito led progresivo.

Interruptor Soft Latch

En alguna ocasión, quizás tengáis que utilizar un botón que, una vez pulsado, mantenga el estado configurado. El uso típico de un interruptor de este tipo es para encender un circuito. Normalmente se utilizan interruptores mecánicos que, una vez pulsados, mantienen la posición del contacto. Para dar un toque de modernidad a vuestros prototipos, podéis utilizar un simple pulsador que realice un contacto estable. Al pulsar el botón por primera vez, el led en salida se encenderá. Para apagarlo, tendréis que pulsar de nuevo el pulsador. El nombre de este circuito es *Soft Latch Switch*.

Es posible realizar uno de estos circuitos con puertas lógicas. En Internet, podemos encontrar distintos esquemas que, a pesar de su aparente simplicidad, son bastante insidiosos. En la figura 11.16 se muestra un ejemplo de *Soft Latch* fabricado con dos puertas NOT. Existen distintos circuitos integrados que contienen puertas NOT, pero para este tipo de trabajo es mejor utilizar un 4069 o 4049, que son de tipo CMOS y no TTL, y además tienen umbrales de reconocimiento de los estados lógicos mucho más amplios.

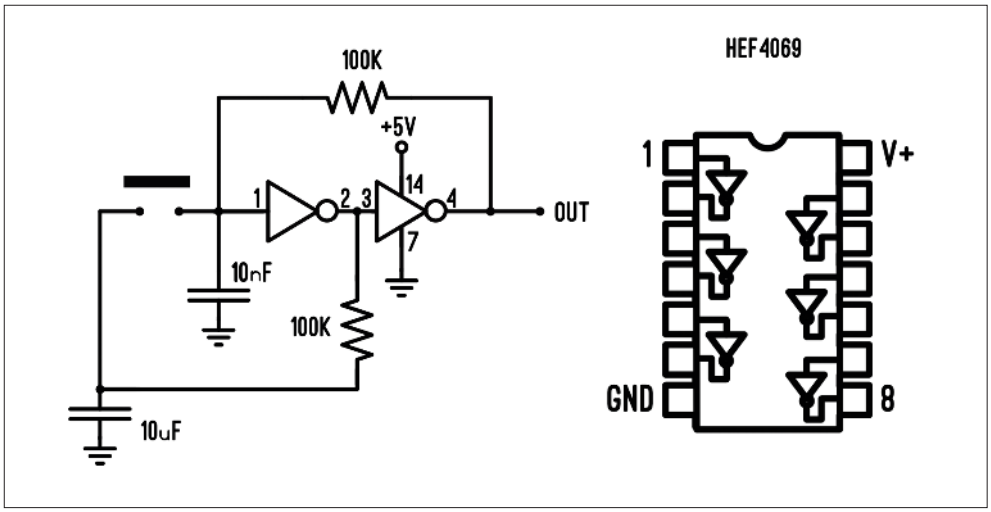


Figura 11.16 – Esquema eléctrico de un soft latch con puertas NOT.

El principio de funcionamiento es simple, porque dos puertas NOT están conectadas en serie y cerradas en anillo. El estado que se configura a la entrada de la primera puerta hace que se cree una situación estable. A la salida de la primera puerta hay un estado ALTO que permite que a la salida de la segunda puerta haya un estado BAJO que es trasladado a la entrada. De este modo, se crea un anillo muy estable. Para forzar el estado bajo a la entrada para el encendido, se utiliza un pequeño condensador de unos cuantos nanofaradios que conecta momentáneamente la entrada a tierra y configura el anillo. Para modificar el estado, se toma la tensión que hay a la salida de la primera puerta NOT y se lleva hasta la entrada.

Un circuito mucho más estable y fiable es el que utiliza un biestable de tipo D, formado por una composición de puertas lógicas. Afortunadamente, ya existen circuitos integrados dotados de biestables D completos, por lo que no será necesario que realicemos complejos cableados uniendo puertas lógicas. Uno de los circuitos que podemos utilizar es el 74HC74, que contiene dos biestables y cuesta unos pocos céntimos de euros.
Si seguimos las indicaciones de la hoja de especificaciones del chip, observamos que el biestable tiene una entrada de datos D, un reloj CK y dos salidas Q y Q' (invertida respecto a Q). Seguidamente vemos también una línea S (set) y una CLR (clear), que deben estar conectadas a +5 V para activar el biestable. También en este caso la salida Q' está conectada a la entrada D. A cada golpe de reloj, realizado con un sencillo

pulsador conectado a los +5V, el biestable identifica la señal existente en su entrada D y lo lleva hasta la salida Q (y Q'). Inicialmente, la salida Q está a cero y, por tanto, el led debería estar apagado. La salida Q' está, pues, en el estado alto y se encuentra directamente conectada a la entrada D. Si pulsamos el botón estamos ordenando al biestable que lea la entrada D. La salida Q pasa entonces al estado alto y el led se enciende. La salida Q' está ahora en el estado bajo y, a la siguiente pulsación del botón, hará que el led se apague.
El botón está conectado de forma estable a la línea de alimentación con una resistencia de 10 kΩ que evita que se produzca un cortocircuito al pulsarlo y al conectar la entrada CK a 0 voltios.

Para realizar el circuito necesitaremos:

- un chip 74LS74 o equivalente,
- un led,
- una resistencia de 390 Ω,
- una resistencia de 10 kΩ,
- un pulsador normalmente abierto.

Si queréis utilizar vuestro interruptor soft latch para encender algo más potente que un led, no os olvidéis de añadir un transistor o un optoaislador a la salida para no dañar el circuito integrado.

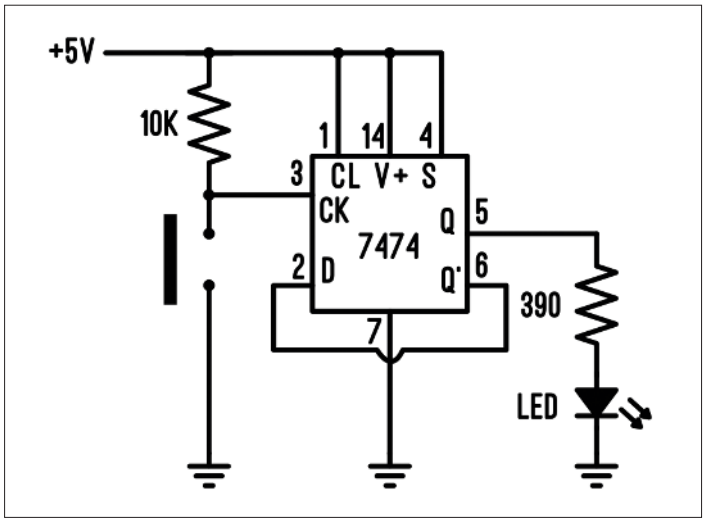


Figura 11.17 – Esquema eléctrico de un soft latch con biestable D.

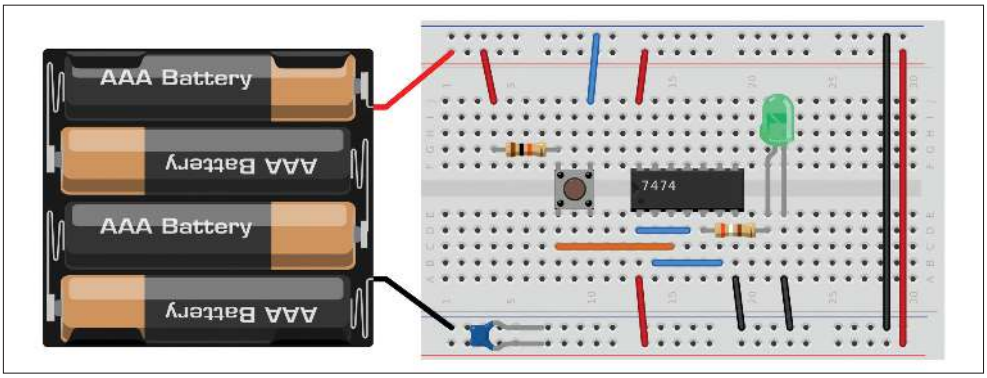


Figura 11.18 – Montaje del soft latch con biestable D.

Vamos a ver cómo podemos realizar una versión con microcontrolador del interruptor soft latch, utilizando un ATtiny85. En esta solución, la parte complicada la lleva a cabo el *software*. El esquema de conexión es muy sencillo porque utiliza solo un pulsador dotado de una resistencia y un led. El pulsador está conectado al PIN1 del ATtiny (pin físico 6). Si observamos el esquema veréis que el pulsador está siempre conectado a GND mediante una resistencia de 10 kΩ. De este modo, el pin siempre está conectado a tierra y, por tanto, puede leer el estado LOW. En el momento en que se pulsa el botón, conectaremos el PIN1 directamente a 5 voltios y el ATtiny leerá HIGH en su entrada. La resistencia entra en juego en este momento porque, si no estuviera allí, al pulsar el botón se produciría un cortocircuito, al unir directamente la alimentación con la masa. La resistencia evita que se produzca el cortocircuito y hace que pase una corriente limitada entre 5 voltios y la masa.

Los componentes que necesitamos para crear este circuito son los siguientes:

- un ATtiny85,
- un led,
- una resistencia de 390 Ω,
- una resistencia de 10 kΩ,
- un pulsador normalmente abierto.

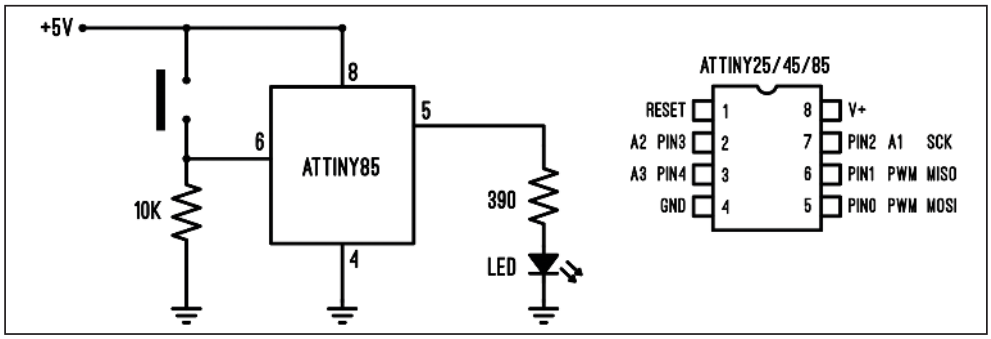


Figura 11.19 – Esquema eléctrico de un soft latch con microcontrolador.

Así es como se escribe el sketch que necesitamos para su funcionamiento. Para memorizar el estado del led, se utiliza la variable *estado_led*, que debe ubicarse fuera de `loop` y `setup`. La variable es de tipo entero porque los estados ALTO y BAJO se representan con simples números enteros, aunque se indican con marcadores denominados HIGH y LOW.

```
int estado_led = LOW;
```

El sketch siempre debe contener una sección `loop` y otra `setup`. Si la variable de estado se declarara dentro de la función `loop`, se recrearía cada vez que se ejecutara el bucle, perdiendo la memoria. En `setup`, el PIN1 está configurado como entrada y el PIN0 como salida.

```
void setup() {
    digitalWrite(0, OUTPUT);
    digitalWrite(1, INPUT);
}
```

En el bucle encontramos un comando `digitalWrite`, que procede a encender o apagar el led según el estado contenido en la variable estado_led (inicialmente en LOW).

```
digitalWrite(0, estado_led);
```

Tras haber configurado el estado del led, comprobamos si ha habido una pulsación del botón con un `digitalRead`:

```
if (digitalRead(1)) {
```

Al pulsar el botón, el programa invierte el estado de la variable mediante el operador ! de negación. El retardo de 300 milisegundos sirve para evitar que se lean también los rebotes del botón, que podrían volver inestable el circuito. De este modo, el programa se bloquea durante el tiempo que necesita el botón para regresar al estado de equilibrio.

```
estado_led = !estado_led;
delay(300);
```

Este es el código completo:

```
int estado_led = LOW;

void setup() {
    digitalWrite(0, OUTPUT);
    digitalWrite(1, INPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(0, estado_led);
  if (digitalRead(1)) {
     estado_led = !estado_led;
     delay(300);
  }
}
```

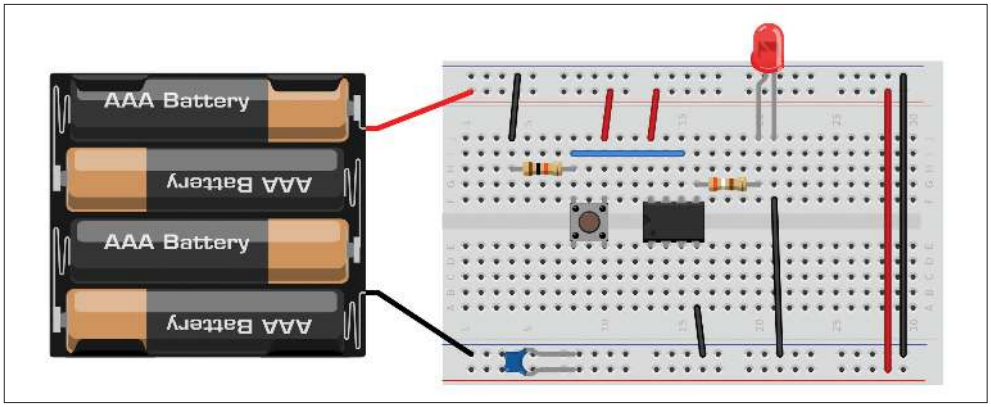


Figura 11.20 – Montaje del soft latch con microcontrolador sobre la placa de pruebas.

Led oscilante

En páginas anteriores hemos aprendido a hacer parpadear un led con la ayuda de dos simples transistores. Tras haber experimentado con transistores, ledes y condensadores, alguien podría pensar en cómo hacer que se encienda y se apague un led de forma gradual. El efecto es sin duda hipnótico y relajante, aunque se trate simplemente de

la luz que indica que un dispositivo está encendido. Si utilizamos un microcontrolador como el ATtiny85, resulta sencillo crear un efecto de este tipo y, si lo queremos, también secuencias mucho más complejas.
Todos los microcontroladores ofrecen pines capaces de generar señales especiales de tipo PWM, que pueden ser utilizados para controlar con precisión la intensidad luminosa de un led o la velocidad de un motor eléctrico (en breve veremos cómo).
Así pues, el truco es utilizar uno de los dos pines marcados con la etiqueta PWM. El ATtiny85 tiene solo dos pines de este tipo, el PIN0 y el PIN1, que corresponden a los pines físicos 5 y 6 del chip. Un pin PWM produce una señal de onda cuadrada en la cual la relación entre el tiempo de encendido y de apagado es regulable al gusto. Cuando la señal está al 50 %, los tiempos de encendido y apagado serán comparables y el led parecerá que está encendido a media potencia. Si la relación baja hasta el 10 %, el led parecerá que está encendido a una décima parte de su máxima intensidad luminosa. El efecto es una especie de ilusión óptica porque nuestro ojo no consigue percibir variaciones luminosas tan rápidas y hace de ellas una especie de media.

El esquema eléctrico es muy sencillo. Se debe conectar un led mediante una resistencia de 390 Ω al PIN0 de ATtiny. El circuito debe estar alimentado exactamente a 5 voltios para no dañar el ATtiny85. La figura 11.20 muestra el esquema eléctrico y la figura 11.2 un posible montaje del circuito sobre una placa de pruebas.

Los componentes necesarios para realizar el circuito son los siguientes:

- un ATtiny85,
- un led,
- una resistencia de 390 Ω.

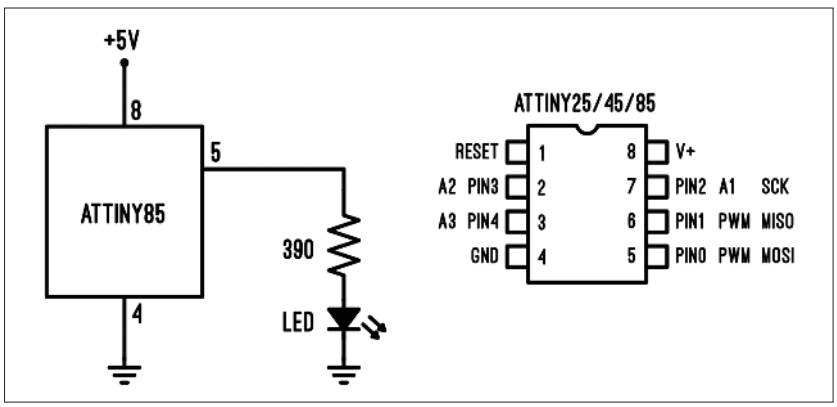


Figura 11.21 – Esquema eléctrico del circuito para el led oscilante.

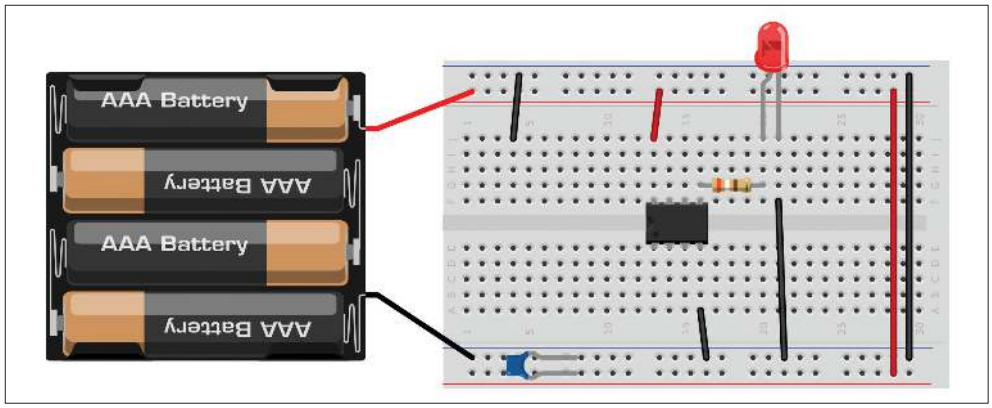


Figura 11.22 – Montaje del led oscilante sobre la placa de pruebas.

La parte crítica de este proyecto es el *firmware*. La instrucción que debe utilizarse para controlar el PIN0 con una señal PWM es `analogWrite`. En la sección `setup` del sketch ajustamos el PIN0 como salida.

```
pinMode(11, OUTPUT);
```

Esta operación podría no ser necesaria porque a veces las señales PWM no requieren este ajuste, pero de este modo nos aseguramos de que el pin esté configurado correctamente y, en el caso en que quisiéramos utilizarlo con `digitalWrite`, el pin ya estaría configurado. En la sección `loop` vemos dos ciclos que utilizan una variable `i` como contador. El primer ciclo incrementa i desde 0 hasta el valor máximo, igual a 255. A cada paso del ciclo se ajusta la salida PWM del PIN0 con el valor actual de `i`. La pausa realizada con un breve retraso sirve para que el efecto sea visible. La ejecución del primer ciclo termina tras 256 pasos, cuando el led empieza apagado y llega gradualmente a su máxima intensidad luminosa.

```
for (int i = 0; i < 255; i++) {
    analogWrite(0, i);
    delay(10);
}
```

El segundo ciclo for ajusta inicialmente la variable `i` a 255 y, después, la disminuye paso a paso hasta el valor 0, donde el led estará apagado.

```
for (int i = 255; i >= 0; i--) {
    analogWrite(0, i);
    delay(10);
}
```

Aquí tenéis el código completo:

```
void setup() {
  pinMode(0, OUTPUT);
}

void loop() {
  for (int i = 0; i < 255; i++) {
    analogWrite(0, i);
    delay(10);
  }
  for (int i = 255; i >= 0; i--) {
    analogWrite(0, i);
    delay(10);
  }
}
```

El efecto PWM se puede obtener también utilizando solo la función digital `digitalWrite`. Esto significa que podéis modular la intensidad de un led (o la velocidad de un motor) con cualquier pin del ATtiny85. Para simular el efecto PWM, debéis conseguir que el led se encienda y se apague de forma muy rápida, muchas veces en un segundo, y que los tiempos de encendido y de apagado sean controlables, de manera que podáis decidir mantener, por ejemplo, el led encendido durante el 25 % del tiempo.
Este es el sketch para crear una señal PWM en el PIN2 (pin físico 7):

```
int i = 0;
int pwmsw = 127;

void setup() {
  pinMode(2, OUTPUT);
  i = 0;
}

void loop() {
  if (i < pwmsw) digitalWrite(2, HIGH);
  else digitalWrite(2, LOW);
  delayMicroseconds(10);
  i++;
  if (i > 255) i = 0;
}
```

Para que todo funcione, se necesitan dos variables: `i`, que actúa de contador, y `pwmsw`, que ajusta la cantidad de PWM (de cero a 255). Si `pwmsw` se ajusta a 127, significa que el led estará encendido durante 127 pasos, mientras que durante los 128 restantes estará apagado. La variable `i` se encarga de contar los pasos. En el setup del sketch se debe configurar el pin trece como salida. En el `loop`, un test controla si el número

de pasos guardados en la variable `i` es menor que el umbral guardado en `pwmsw`: si es menor, el led está encendido, si no, el led está apagado. El programa ejecuta una pausa de algún microsegundo utilizando la función `delayMicroseconds(10)`. Después de la pausa, el número de pasos ha aumentado una unidad. Un test comprueba si los pasos han llegado al límite de 255 y, en caso afirmativo, los reajusta para que el recuento empiece de nuevo.

Para realizar el circuito, podéis utilizar el esquema de la figura 11.21, modificando el pin en el cual se encuentra conectado el led; no el pin 5, sino el 7.

Si cargáis el sketch podréis encender el led conectado al PIN2 a la mitad de su luminosidad (incluso sin ser un PWM).

Podemos utilizar el mismo principio para controlar un pequeño motor eléctrico. En la figura 11.22 podéis ver el esquema eléctrico, donde el led ha sido sustituido por un transistor MOSFET IRF520 conectado al motor. El control del MOSFET requiere una resistencia de 10 kΩ y la inserción de un diodo para proteger el transistor de las corrientes parásitas generadas por el motor. La resistencia tiene la tarea de mantener la puerta anclada a GND y, por tanto, dar una mayor estabilidad al circuito. La señal PWM enciende y apaga rápidamente el motor, el cual como tiene una inercia propia no se bloqueará de inmediato, sino que modificará simplemente su velocidad. En este esquema, he añadido un condensador de 100 nF que va conectado entre la alimentación positiva y la masa. El condensador tiene la finalidad de suprimir eventuales señales falsas que podrían perturbar el funcionamiento del microcontrolador. Es aconsejable insertar un condensador de este tipo cuando se utilizan circuitos integrados o microcontroladores.

Los componentes que necesitamos para realizar este circuito son:

- un ATtiny85,
- un condensador de 100 nF,
- un transistor MOSFET IRF520,
- una resistencia de 10 kΩ,
- un diodo 1n4005,
- un motor eléctrico de corriente continua de 5 voltios.

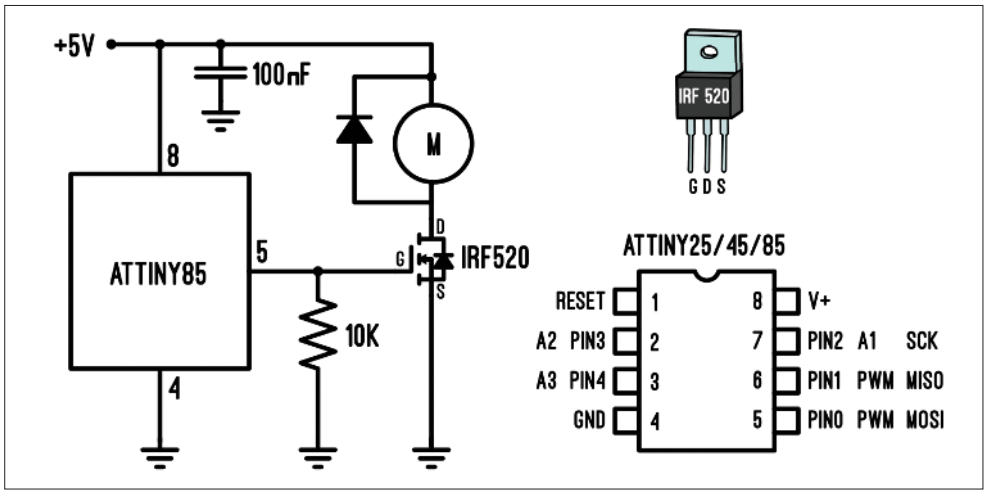


Figura 11.23 – Esquema eléctrico del circuito para controlar un motor con una señal PWM.

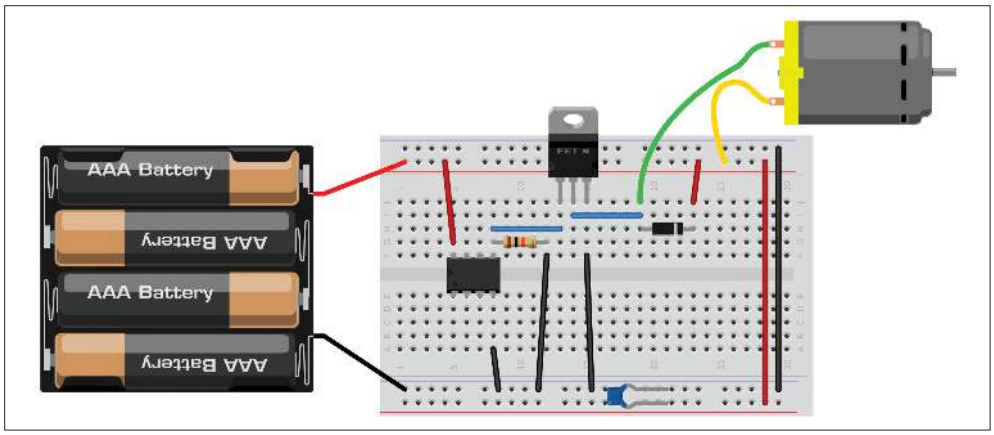


Figura 11.24 – Montaje sobre una placa de pruebas del circuito para controlar la velocidad de un motor eléctrico.

Vúmetro con un LM3915

Un circuito integrado muy interesante para aquellos que están empezando en esto de la electrónica es el LM3015, que se puede utilizar para construir un indicador de barra, es decir, unas filas de led que se encienden de forma secuencial proporcionalmente a la señal aplicada a la entrada. Estos circuitos eran muy populares en los equipos de música de hace unos años: los famosos vúmetros. Con un LM3915 resulta sencillo crear un indicador de nivel, porque solo tenéis que conectar los ledes y añadir otros pocos componentes. El chip se ocupará del análisis de la señal y del control del encendido de los ledes.

El LM3915 puede ser alimentado con una tensión que va de 3 a 25 voltios sin ningún problema. El efecto luminoso puede ser de dos tipos, de barra o de puntos, y se puede modificar conectando el pin 9 a la tensión de alimentación (efecto de barra) o dejándolo desconectado (efecto de puntos). Si diez ledes no son suficientes, también es posible encadenar varios circuitos uno después del otro.
La resistencia aplicada al pin 7 influye sobre la luminosidad de los ledes. La señal de entrada se aplica al pin 5 y sería recomendable añadir un potenciómetro o un trimmer de entrada que regulara la intensidad de la señal para reducirla y que el chip no entrara en saturación.
Los componentes que necesitamos para realizar este circuito son:

- un LM3915,
- un condensador de 10 uF / 16 voltios,
- diez ledes,
- una resistencia de 1 kΩ,
- un potenciómetro de 10 kΩ.

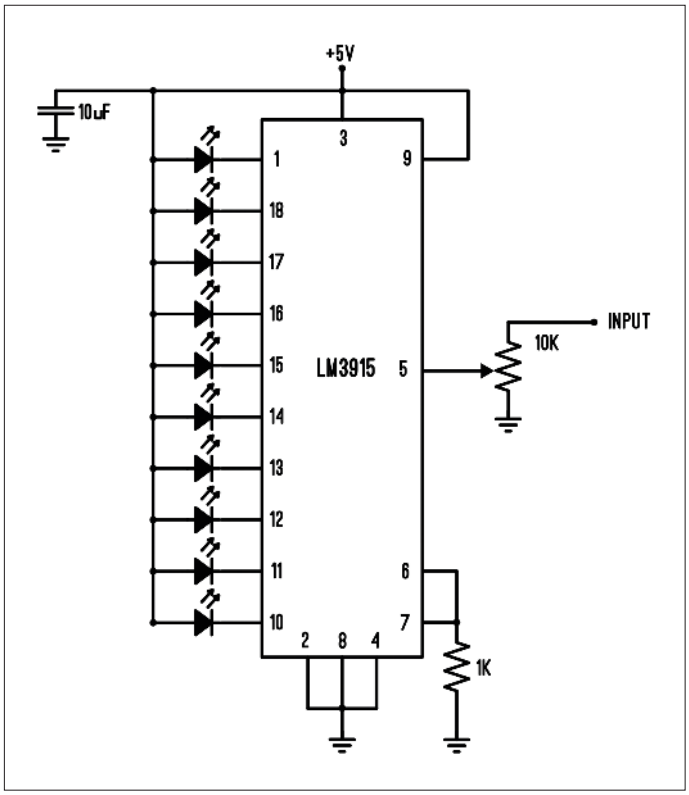


Figura 11.25 – Esquema eléctrico del vúmetro con un LM3915

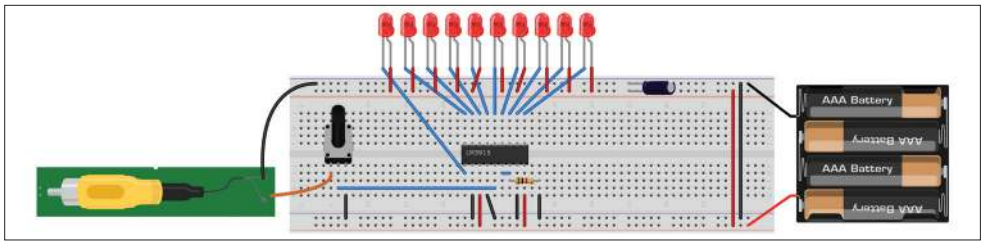


Figura 11.26 – Montaje del vúmetro sobre una placa de pruebas.

Amplificador 2W

No puede faltar en vuestro laboratorio un pequeño amplificador multiusos, muy necesario en muchas situaciones para amplificar señales de audio, en ocasiones demasiado débiles para ser escuchadas directamente o con auriculares. Existen múltiples esquemas para construir amplificadores de potencia conectando varios transistores entre sí. En las últimas décadas, la electrónica integrada ha producido muchas soluciones integradas para realizar rápidamente amplificadores añadiendo poquísimos componentes discretos. El TBA820M es uno de estos chips; ofrece 2 vatios de potencia y puede controlar un pequeño altavoz, y además cuesta menos que un café. El TBA820M puede ser alimentado con una tensión entre 3 y 16 voltios y presenta buenas características de audio, en el sentido que distorsiona poco las señales y no se calienta excesivamente.

Vale la pena fabricar este circuito sobre una placa perforada y después encajarlo añadiendo el altavoz y recuperando una vieja carcasa de ordenador u otra caja adecuada para meterlo dentro. De este modo, vuestro amplificador estará siempre listo para su uso.

Los componentes necesarios para realizar el circuito son:

- un TBA850M,
- un potenciómetro de 10 kΩ,
- una resistencia de 10 kΩ,
- una resistencia de 33 Ω,
- una resistencia de 1 Ω (½ vatio),
- un condensador electrolítico de 1 uF / 16 voltios,
- un condensador electrolítico de 100 uF / 16 voltios,
- un condensador electrolítico de 330 uF / 16 voltios,
- un condensador electrolítico de 1 uF / 16 voltios,
- un condensador de 1 uF,
- un altavoz de 2 vatios, 8 Ω.

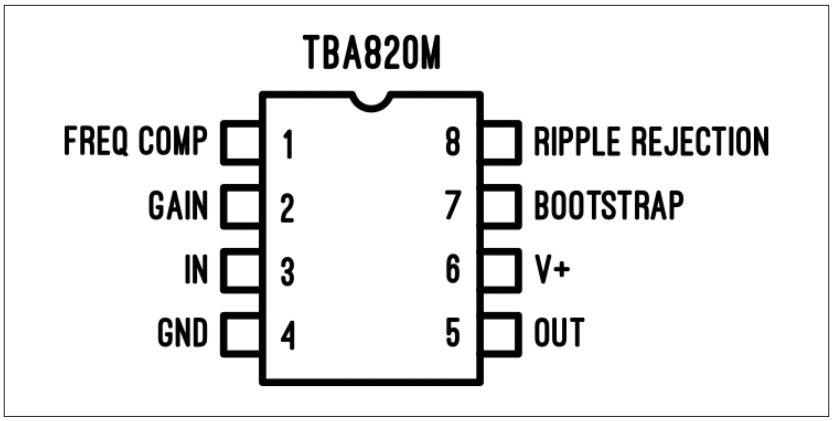


Figura 11.27 – Pinout del TBA820M

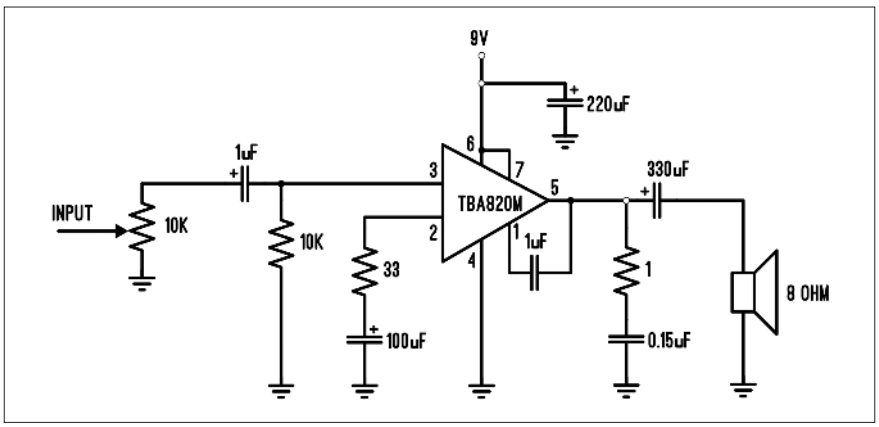


Figura 11.28 – Esquema eléctrico del amplificador de 2 vatios.

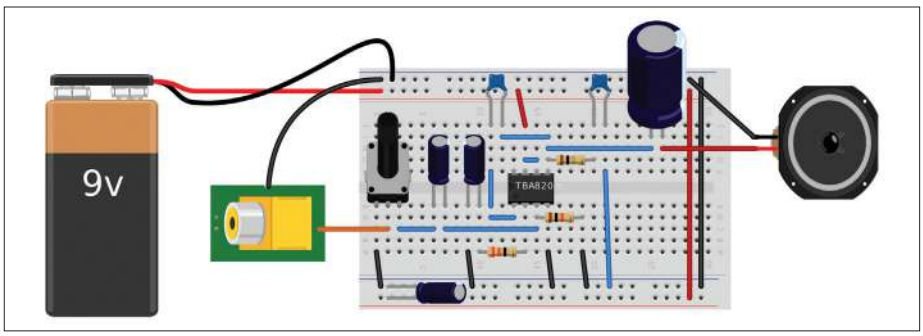


Figura 11.29 – Montaje del amplificador de 2 vatios sobre una placa de pruebas.

Preamplificador con transistor

A veces nos encontramos con señales tan débiles que ni nuestro potente amplificador de 2 vatios es capaz de amplificarlas. ¡No os preocupéis! Podemos añadir al amplificador una etapa de preamplificación que aumente las señales más débiles, de manera que después el estadio final las pueda detectar.

Para realizar un preamplificador se pueden adoptar distintas soluciones, utilizando amplificadores operacionales. Os presento un circuito muy sencillo, de funcionamiento garantizado, que utiliza un único transistor. El esquema utiliza una configuración por emisor común y un montón de componentes. Veréis que hay una resistencia conectada entre la base y el colector del transistor. La resistencia crea un *feedback* negativo proporcionando parte de la señal de salida a la entrada. Con este sistema, el circuito permanece estable en caso de variaciones de temperatura y de la tensión de alimentación.

Los componentes que necesitamos para realizar el circuito son:

- un transistor NPN 2n2222 o similar,
- una resistencia de 10 kΩ,
- una resistencia de 100 kΩ,
- una resistencia de 1 Ω (vatio),
- un condensador de 1 uF,
- un condensador de 0.1 uF.

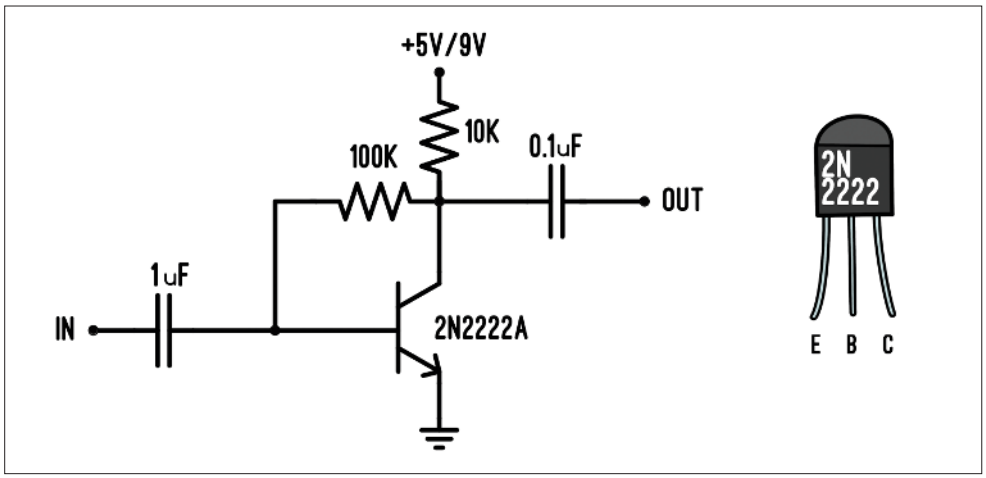


Figura 11.30 – Esquema eléctrico del preamplificador.

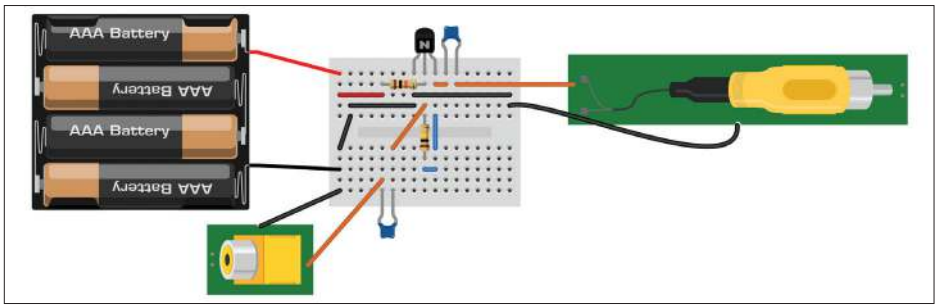


Figura 11.31 – Montaje del preamplificador sobre una placa de pruebas.

Ecualizador

Seguimos con los circuitos dedicados al audio. Para completar el amplificador os presento un ecualizador de tres bandas, es decir, un circuito que podéis insertar entre el preamplificador y el amplificador para regular las frecuencias bajas, medias y altas. El circuito utiliza amplificadores operacionales, en concreto, el par presente dentro del chip TL082, caracterizado por una alta impedancia de entrada y un ruido bajo. El TL082 es bastante sencillo de usar y no requiere componentes para el ajuste del offset ni para la compensación de frecuencia, lo que nos hace la vida mucho más fácil. Para alimentar correctamente el circuito, necesitamos una alimentación dual. Para ello, debemos proporcionar una tensión positiva, una negativa y la masa. La tensión puede alcanzar los 18 voltios, pero si disponemos de una batería de 9 voltios o de un alimentador de 12, podría alimentarse todo a 44.5 o 46.

El condensador en la entrada sirve para bloquear eventuales tensiones continuas presentes en la señal. El condensador, junto a la resistencia de 10 kΩ, actúa como filtro paso alto que bloquea las frecuencias inferiores a 15 Hz. El primer amplificador operacional se conecta como búfer y sirve solo para acoger la señal que presenta una alta impedancia a la entrada. La señal en salida al búfer pasa a una red de filtros RC que corta las frecuencias que atraviesan el circuito, proporcionando distintas amplificaciones por las tres ventanas previstas. El grupo de filtros que encontramos en la parte alta del esquema eléctrico interviene sobre las frecuencias bajas, mientras que la red RC de la parte baja trabaja sobre las frecuencias altas. Cada filtro dispone de un potenciómetro que varía la amplificación de la señal, modificando la ganancia del amplificador operacional de salida, conectado en configuración inversora.

Los componentes que necesitamos para realizar este circuito son:

- un circuito integrado TL082,
- 4 resistencias de 10 kΩ,

- 2 resistencias de 4.7 kΩ,
- 2 resistencias de 2.2 kΩ,
- 2 potenciómetros de 100 kΩ,
- 1 potenciómetro de 470 kΩ,
- 2 condensadores de 1 uF,
- 2 condensadores de 4.7 nF,
- 1 condensador de 22 nF,
- 1 condensador de 47 nF.

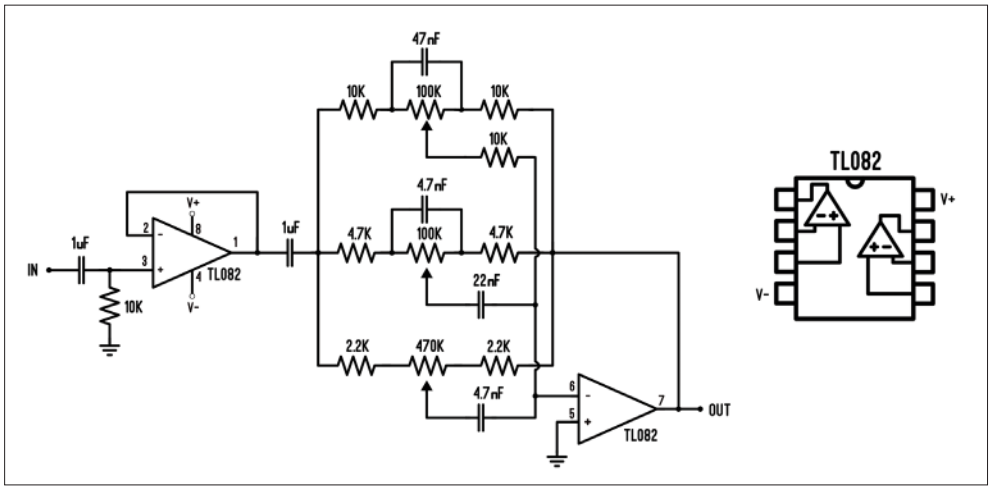


Figura 11.32 – Esquema eléctrico del ecualizador de tres bandas.

Mezclador

Si queremos añadir más entradas a nuestro amplificador, necesitaremos un pequeño mezclador, puesto que para combinar señales distintas procedentes de diferentes fuentes es imposible unir simplemente los cables entre ellos. Las señales deben ser tratadas por separado y amplificadas de forma distinta según su intensidad. Existe una configuración estándar para realizar un mezclador con amplificadores operacionales y es la que adoptaremos nosotros. En el esquema que presentamos solo hay tres entradas, número que, si queremos, podemos aumentar. Para cada entrada hay un potenciómetro que regula el nivel de entrada de la señal. Cuando se desconecta una entrada, es recomendable ajustar el potenciómetro a cero para que la entrada se pueda conectar a tierra. Si tenéis previsto conectar tomas para micrófonos o para instrumentos musicales, podéis adquirir unas que están dotadas de un contacto que pone a tierra la línea cuando no se dispone de un jack. Un condensador electrolítico,

disponible en cada línea, bloquea eventuales tensiones residuales que pueden presentarse en las señales. Las líneas están conectadas a la entrada inversora de un amplificador operacional (TL082) en configuración no inversora. La ganancia del mezclador se regula por la resistencia de 100 kΩ, la cual actúa como volumen maestro. En este caso, también es necesario proporcionar una alimentación dual.

Los componentes que necesitamos para realizar este circuito son:

- un circuito integrado TL082,
- 4 resistencias de 10 kΩ,
- 3 potenciómetros de 10 kΩ,
- 1 potenciómetro de 100 kΩ,
- 4 condensadores de 10 uF.

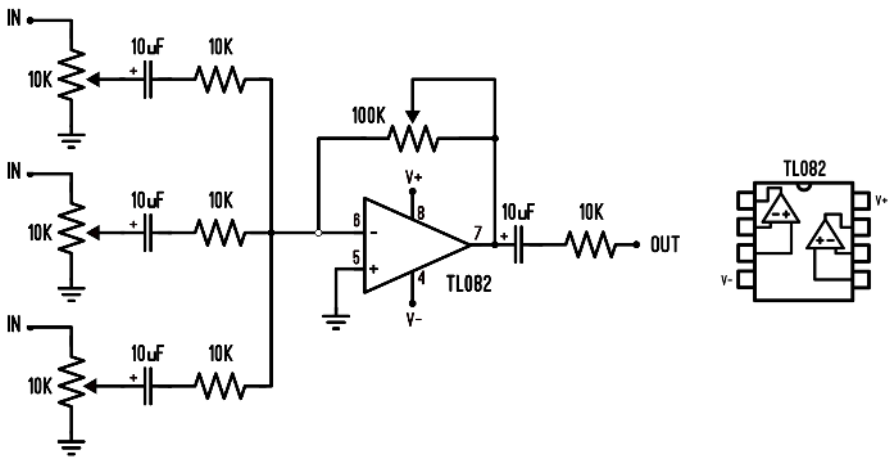


Figura 11.33 – Esquema eléctrico del mezclador.

Radio a transistores

Los circuitos más difíciles para aquellos que están empezando con la electrónica son los de radio. Estos esquemas han fascinado y atraído durante años a curiosos y apasionados de la electrónica. El circuito básico de una radio es realmente sencillo, casi elemental, pero presenta una serie de dificultades que podrían desanimar a cualquiera. Cuando era un chaval no sé cuántas veces intenté construir, sin éxito, una radio. Pero no me daba por vencido. Probé con innumerables esquemas saca-

dos de revistas de electrónica, pero sin experiencia ni herramientas me resultaba casi imposible hacer funcionar estos circuitos. De vez en cuando alguno de ellos crujía y entre aquel ruido me parecía escuchar sonidos inteligibles. Aun así, sentía una gran emoción.
Recientemente he retomado alguno de estos esquemas y, con un poco más de malicia, he conseguido que funcionaran.
El circuito más sencillo para realizar una radio procede del esquema de la radio a galena. La galena es un cristal que se comporta como un diodo, es decir, deja pasar la corriente en una única dirección. Las primeras radios utilizaban uno de estos cristales con un alambre situado encima que hacía de detector.
El núcleo de la radio es el grupo LC, formado por una bobina y un condensador, que se utiliza para sintonizar las emisoras. De hecho, basta con acoplar una bobina y un condensador para crear un filtro muy especial que dejará pasar solo una frecuencia. El filtro está conectado a la antena, que capta las señales débiles presentes en el aire (hablamos de microvoltios). El filtro LC tiene una ventana muy estrecha que dejará pasar solo una emisora de radio entre todas las señales que proceden de la antena.
La señal que selecciona el grupo LC contiene tanto el portador como la señal de audio. Para poder escuchar algo, es necesario detectar la señal con el diodo, es decir, eliminar el portador y la parte negativa de la onda. El circuito funciona solo con diodos de germanio, que tienen una tensión de polarización muy baja (0,3 voltios) respecto a los 0,5 y más de los diodos comunes. ¡Las señales recibidas son extremadamente débiles! Por este motivo, es necesario conseguir un auricular de cristal dotado de una alta impedancia que no mate la señal.
Esta radio no requiere ninguna alimentación. Las señales, aunque sean tan débiles, son capaces de controlar el auricular. Sin embargo, es importante conectar una antena con la longitud adecuada, de como mínimo unos diez metros, y extenderla y colgarla de una ventana. Además de la antena, también necesitamos una toma de tierra. La tierra es fundamental y se puede realizar conectando un cable eléctrico a los tubos de un radiador o a un grifo. Hay que poner atención en que se produzca un buen contacto eléctrico.

El mayor problema para la realización de este circuito es la construcción de la bobina. A falta de instrumentos de medida, es preciso proceder a ciegas, confiando en las fórmulas.
La radio a diodo que construiremos puede captar las señales en AM (modulación de amplitud) y, por tanto, las transmisiones de ondas medias. Para que podamos escuchar algo, es preferible probarla de noche, cuando la atmósfera favorece la

propagación de las ondas de radio, ajustando la frecuencia en la estación AM más potente que más cerca tengamos. Por ejemplo, en Italia está radio 1 (cerca de Milán a 900 Khz), en España la RNE, que transmite en distintas frecuencias. Comprobad en Internet las frecuencias de la emisora que os interesa escuchar.
Para calcular la frecuencia de la emisora se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$f = \frac{1}{6.28\sqrt{LC}}$$

En nuestro caso, queremos escuchar una que transmite a 900 Khz. Por tanto, elegimos un condensador que utilizaremos junto con la bobina: 220 pF.
Para calcular la inductancia, utilizaremos la siguiente fórmula, insertando la frecuencia (en Mhz) y la capacidad en pF:

$$L = \frac{25300}{f^2 C} = \frac{25300}{0.9^2 220} = \frac{25300}{380.7} = 67uH$$

A continuación, vamos a crear la bobina. Necesitamos cable de cobre esmaltado con un diámetro de 0,4 mm. Construid un pequeño cilindro de cartón con un diámetro de 30 mm y envolvedlo con unas setenta vueltas de cable de cobre esmaltado. Las vueltas deben estar bien prietas sobre la base. Fijad el cable a los extremos con cinta adhesiva. Tanto el condensador como la bobina ahora están fijos. Para cambiar de emisora, podemos sustituir el condensador por un condensador variable de aire (hoy en día, prácticamente imposibles de encontrar), o bien crear un núcleo metálico y hacerlo pasar por dentro de la bobina. Normalmente se utilizan barras de ferrita, un material que se utiliza como apoyo para construir las bobinas porque permite aumentar su valor. Si deslizamos el núcleo de ferrita dentro de la bobina enrollada sobre el cartón, podemos cambiar el valor de la bobina y, por tanto, sintonizar distintas frecuencias.

Existen fórmulas para calcular las bobinas. Esta sería una aproximada para calcular una bobina enrollada de aire con una única capa de espiras:

$$N = \sqrt{\frac{Lw100}{0.987d^2K}}$$

N es el número de espiras o vueltas, L es la inductancia, w es la longitud en cm de la bobina, d es el diámetro y K es una constante que depende de la relación entre d y w y que se puede aproximar a 0.4.

Hay fórmulas más precisas, y también más complejas, que consideran el diámetro del cable. En Internet podemos encontrar múltiples calculadoras *online* para bobinas de aire.
Para obtener una bobina de 67 uH, podemos probar a copiar la fórmula en un Excel y jugar un poco con los números para buscar una solución aceptable (que no tenga demasiadas espiras ni unas dimensiones exageradas).
Para una bobina de 67 uH se necesitan 75 espiras de cable enrolladas en un diámetro de 3 cm y una longitud de 3 cm.

Por lo tanto, para construir nuestra primera radio, necesitamos:

- una bobina con núcleo de ferrita,
- un condensador de 220 pF,
- un diodo de germanio OA90, OA91 o 1N270,
- un auricular de cristal,
- 10 metros de cable para la antena,
- una buena toma de tierra.

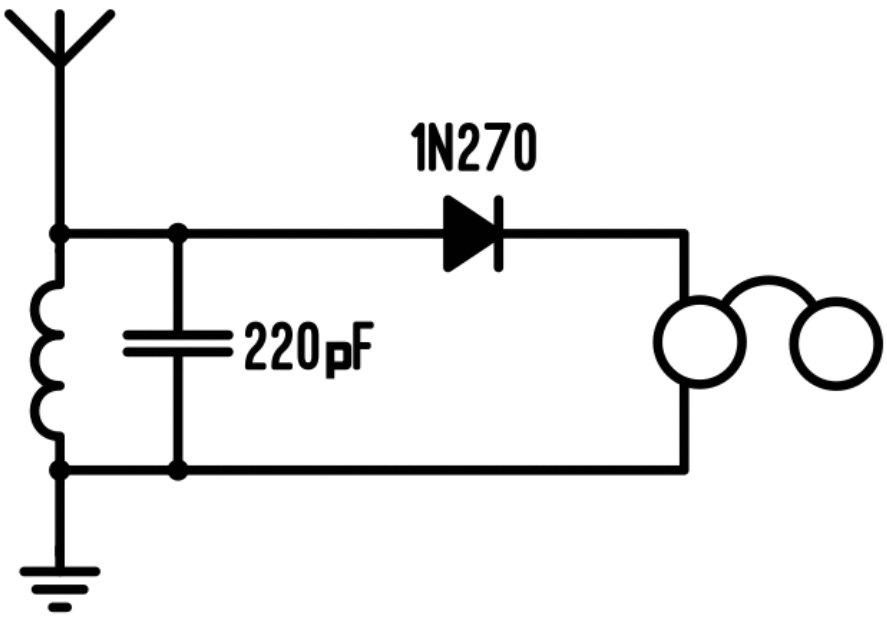


Figura 11.34 – Esquema eléctrico de la radio.

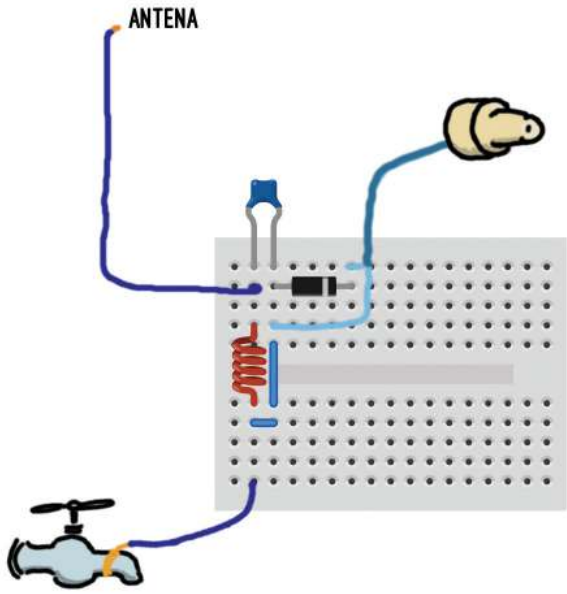


Figura 11.35 – Esquema eléctrico de la radio.

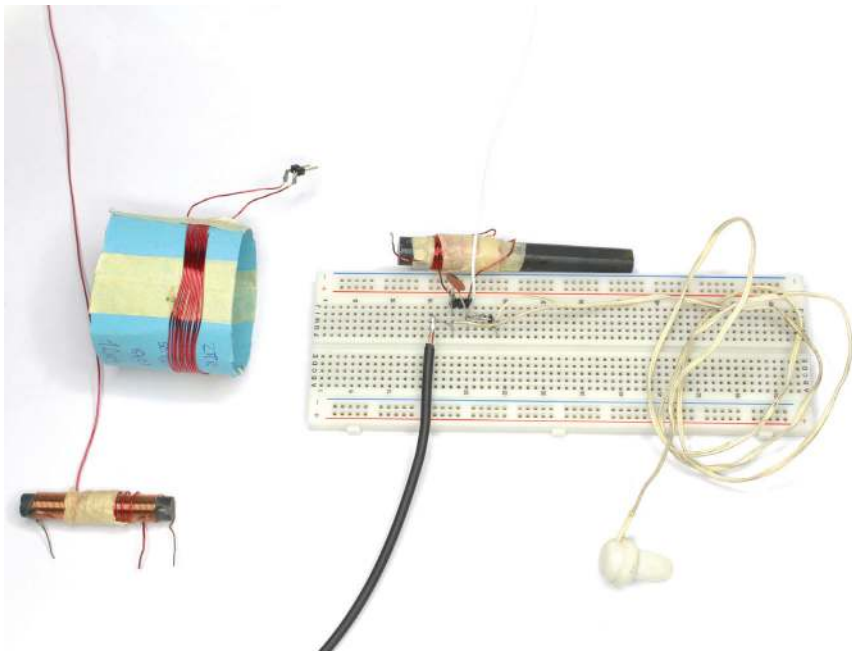


Figura 11.36 – Foto de la radio sobre una placa de pruebas con varias bobinas y el auricular de cristal.

Figura 11.37 – Toma de tierra realizada sobre el tubo de un radiador.

Para realizar una radio más compleja que trabaje a diferentes frecuencias, es preciso enfrentarnos a circuitos mucho más complicados y contar con un mínimo de herramientas que puedan comprobar el funcionamiento de los circuitos y la presencia de problemas. Os presento un circuito más complejo, aunque al alcance del principiante, que utiliza un pequeño circuito integrado similar a un transistor, pero que esconde una radio casi completa. El circuito es un ZN414 (difícil de encontrar) o su equivalente TA7642. Estos chips han sido creados para realizar pequeñas radios portátiles alimentadas a 1,5 voltios. Basta con añadir el grupo LC de emisoras para tener entre las manos una radio operativa, porque se ocupan de la detección de la señal, de su demodulación y ofrecen una primera amplificación. A la salida del TA7642 encontramos una señal de audio lista para ser amplificada. La parte más difícil es la realización del grupo LC. Para la sintonización, valen las mismas consideraciones aportadas en los parámetros precedentes. En este caso, sin embargo, se necesita un condensador variable. Podéis intentar utilizar pequeños trimmers capacitivos que alcanzan como máximo unos cien picofaradios, o bien podéis intentar construir, como he hecho yo, un condensador variable de aire.

Para mi condensador, he utilizado dos hojas de cartón de unos 20 centímetros de lado, sobre el cual he aplicado, por una cara, papel de aluminio de cocina. He conectado los dos papeles uniendo un lado con cinta adhesiva y he aplicado después un cable eléctrico a cada cara con una pinza. Mi condensador parece una especie de libro: al

abrirlo o cerrarlo la capacidad se modifica y, por tanto, es posible cambiar de emisora. Para este circuito es necesario conectar la antena de un modo concreto, creando una especie de transformador. Una vez realizada la bobina principal, debemos crear una segunda bobina más pequeña y enrollarla directamente sobre la bobina principal. La bobina secundaria tendrá unas diez espiras y estará directamente conectada a tierra y a la antena. Esta bobina transferirá la señal a la bobina principal.

La señal obtenida a la salida del circuito integrado se aplica a un preamplificador con transistor similar al que hemos presentado en este capítulo. Si queremos escuchar algo, debemos conectar la salida del circuito a un amplificador.

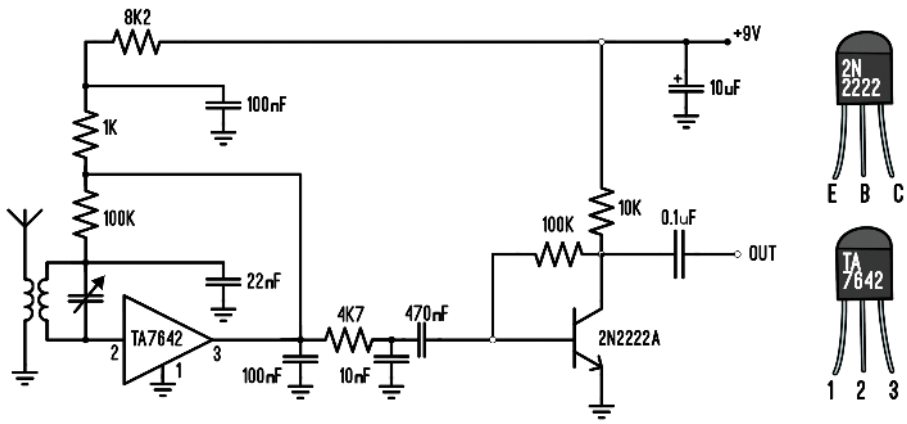


Figura 11.37 – Esquema eléctrico de la radio con circuito integrado

Conclusión

Espero sinceramente que este libro os haya sido útil y que esta última página sea para vosotros el punto de partida hacia un largo viaje. Hay muchos temas que no he podido tratar en el libro, algunos de los cuales son complejos y fascinantes, como las corrientes alternas, las radios, las transmisiones de señales, la amplificación o la elaboración y la producción de sonidos. También está el mundo del robot, de la domótica, de los drones, del Internet de las Cosas y de la Informática física (en inglés, *Physical Computing*), donde la electrónica desaparece y crea interacciones increíbles y, hasta hace poco, impensables. Para cada uno de estos temas se necesitaría como mínimo un libro entero.

Dejad que os inspiren vuestros intereses y profundizad en los temas que más os llamen la atención. Buscad en Internet, donde encontraréis numerosos sitios de entusiastas, vídeos, tutoriales y lecciones.

Actualmente es muy fácil aprender a hacer cosas. No os detengáis y no os rindáis nunca.

A

Apéndice A
Arduino

He decidido incluir únicamente un breve apéndice sobre Arduino, porque existen muchísimos recursos para aprender a utilizar este pequeño microcontrolador. El primero de ellos es el sitio web oficial (http://www.arduino.cc), donde encontraréis tutoriales y lecciones en vídeo. En librerías podéis encontrar muchos libros, desde *Getting started with Arduino* (Empezar con Arduino) de Massimo Banzi, hasta el completísimo *Make things talk*, de Tom Igoe.

¿Qué es Arduino?

Arduino es una plataforma para realizar rápidamente prototipos electrónicos. Es una pequeña placa que dispone de un microcontrolador ATmega328 de Atmel. Arduino se programa con un *software* gratuito y cuenta con el apoyo de una amplia comunidad y de un sitio web con un foro muy activo y actualizado.

La potencia de Arduino se encuentra en su simplicidad de programación. El lenguaje utilizado es C, pero se han creado librerías que simplifican muchísimo cualquier operación. Además, no se necesita ningún tipo de programador para transferir el programa del ordenador a la placa; basta con un cable USB.

Para realizar una prueba, solo necesitamos una placa Arduino (la UNO funciona de maravilla), un cable USB de tipo A-B y el *software*, que podemos descargar desde el sitio web oficial (http://www.arduino.cc). La instalación es muy sencilla y no supone ningún peligro. En el sitio web disponemos de todas las instrucciones necesarias. Conectamos la placa al ordenador con el cable USB y la placa se enciende porque está alimentada con los 5 voltios presentes en el puerto USB. Si la placa es nueva, debería parpadear un pequeño led amarillo.

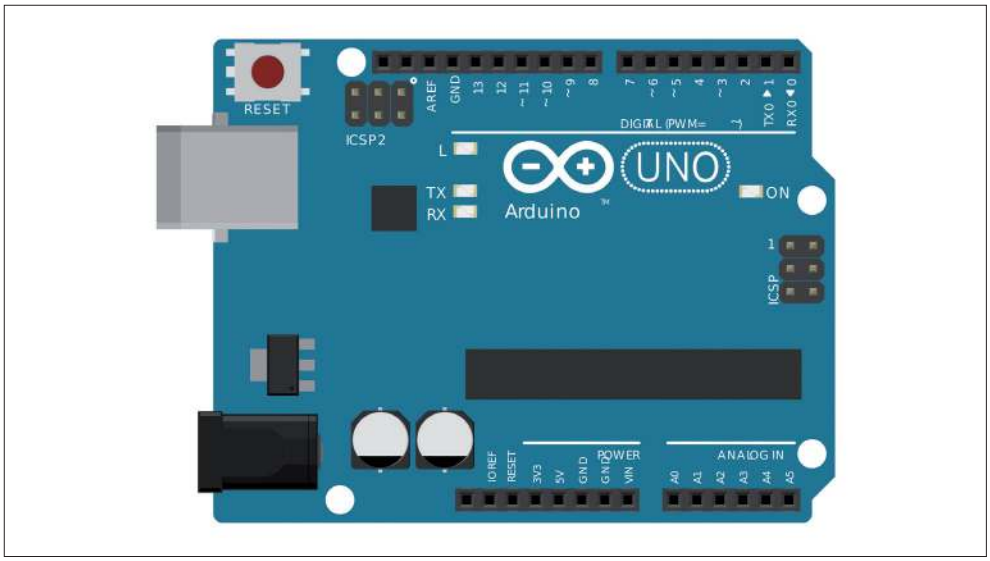


Figura A.1 – La placa Arduino UNO.

Figura A.2 – El entorno de desarrollo de Arduino.

Arduino no utiliza código, es decir, secuencias de instrucciones, sino sketches, que son lo mismo, pero con un nombre distinto y un poco más creativos. Un programa de ordenador está formado por un listado de instrucciones que se traducen en un código comprensible para la CPU del ordenador y, después, se ejecutan una tras otra. El sketch de Arduino dispone de dos secciones, denominadas *setup* y *loop*.
En el setup incluiremos todas las instrucciones que deberán ser ejecutadas solo cuando se enciende Arduino, mientras que las instrucciones incluidas en el loop se repetirán hasta el infinito.
El sketch está escrito en un lenguaje comprensible, pero para transferirlo a la placa necesita ser compilado, es decir, traducido en instrucciones que el microcontrolador pueda leer y ejecutar. La transferencia se lleva a cabo, simplemente, mediante el cable USB. El programa que cargaréis en Arduino permanecerá en la memoria del microcontrolador incluso una vez apagado.
La placa está dotada de un número determinado de pines de entrada y de salida, puertos de comunicación y alimentación.
Sobre la placa podemos ver:

- 14 pines de entrada o salida digitales;
- 6 entradas analógicas;
- una alimentación a 3,3 voltios;
- una alimentación a 5 voltios;
- un puerto serie;
- un bus I^2C (*Inter Integrated Circuit*), un estándar definido por Philips para la comunicación entre varios chips. I^2C utiliza dos cables denominados SDA (*Serial DAta*), para los datos (pin A4), y SCL (*Serial CLock*) para la sincronización (pin A5);
- un bus SPI (*Serial Peripheral Interface*), un estándar que permite la comunicación entre varios circuitos integrados. El bus es accesible en los pines 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) y 13 (SCK).

En la placa también encontramos:

- un botón para el RESET – para interrumpir la ejecución del programa actual y reiniciar la placa;
- un conector para la alimentación externa – para alimentar a Arduino con una pila o un alimentador. Las tensiones que admite van de 5 hasta unos 20 voltios;
- el conector USB – para conectar el cable USB para la programación. El cable sirve también para alimentar la placa cuando se encuentra conectada a un ordenador.

Los comandos fundamentales con los cuales se trabaja en los pines son:

- `digitalWrite`
- `digitalRead`

- `analogWrite`
- `analogRead`

El mínimo sketch debe contener las dos secciones: `loop` y `setup`. Podemos copiar el siguiente código o bien utilizar el sketch de ejemplo que encontraremos en **Archivo** > **Ejemplos** > **Basicos** > **BareMinimum**.

```
void setup() {

}
void loop() {

}
```

Aunque el lenguaje para programar Arduino ha sido muy simplificado, continúa siendo C y, por tanto, debemos respetar algunas reglas que podrían parecer un poco extrañas, sobre todo si la programación no es nuestro fuerte. Por alguno de estos motivos es necesario que antes de `loop` y `setup` aparezca la palabra `void`, que al final de cada operación se incluya un punto y coma y que se utilicen llaves para separar bloques de código. Los pines digitales pueden funcionar como entradas o salidas. Los podemos utilizar para encender ledes o enviar señales al mundo exterior, o para detectar la presión de un botón o recibir información. Antes de utilizar un pin, debemos declarar qué tipo de comportamiento tiene que asumir, es decir, si será una entrada o una salida. Esta operación es necesario llevarla a cabo solo una vez, cuando la placa se enciende y el ATmega328 empieza a leer el sketch. Para utilizar el pin once como salida, en el bloque `setup` debemos escribir:

```
void setup() {
    pinMode(11, OUTPUT);
}
```

Para utilizar el pin como entrada, escribiremos:

```
void setup() {
    pinMode(11, INPUT);
}
```

digitalWrite

Para activar un pin digital, se utiliza `digitalWrite`, indicando el número de pin que se desea activar y el estado del mismo: alto o bajo. Para que un led, que se encuentra conectado al pin once, parpadee, se utiliza el siguiente sketch:

```
void setup() {
    pinMode(11, OUTPUT);
}

void loop() {
    digitalWrite (11, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite (11, LOW);
    delay(1000);
}
```

En una placa de pruebas insertamos un led y una resistencia de 330 Ω y conectamos el pin once de Arduino al ánodo del led y un terminal del resistor al pin GND, como se indica en la siguiente figura.

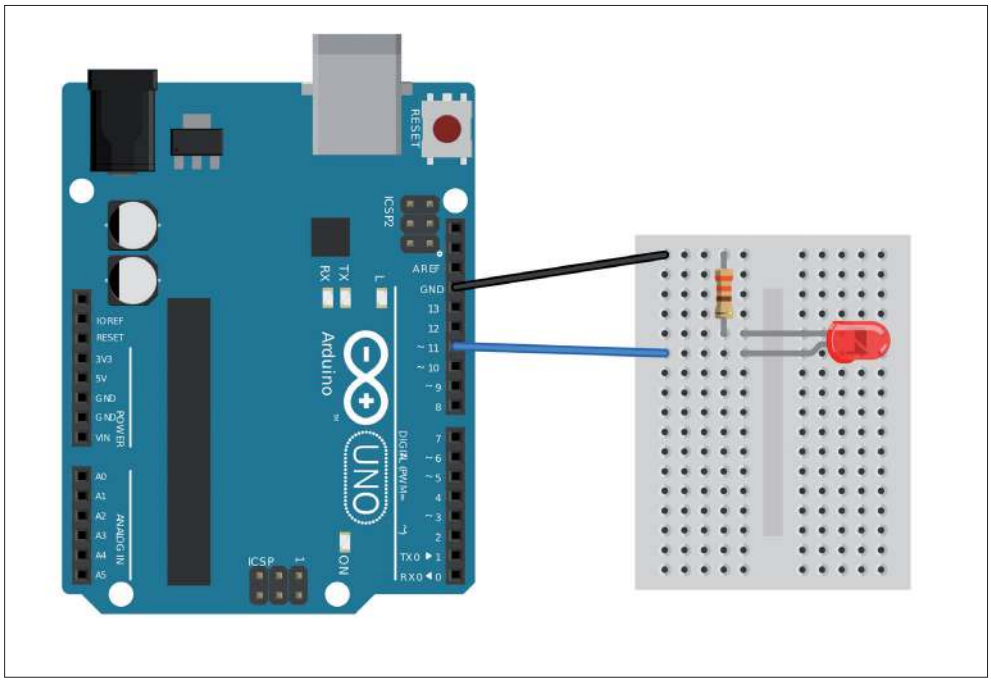


Figura A.3 – Arduino conectado a un led insertado sobre una placa de pruebas.

Abrimos el entorno de desarrollo de Arduino y creamos un nuevo sketch utilizando **File** > **New**. Se abre una nueva ventana en la cual debemos copiar las líneas de código. Conectamos la placa al ordenador y comprobamos en **Tools** > **Serial Port** que aparece el puerto serie y que está seleccionado.

Pulsamos el botón **Verify** (el primero de la barra de herramientas) y esperamos a que el sketch sea analizado y compilado. Si no hay errores, normalmente mostrados en

el pequeño panel de color negro al final de la ventana, pulsamos el botón **Upload** (el segundo de la barra de herramientas) y esperamos la transferencia del sketch. Los ledes de la placa parpadean brevemente durante unos segundos y, después, el led de la placa de pruebas debería empezar a parpadear.

Figura A.4 – Los botones Verify y Upload.

Analicemos el sketch. En la sección **`setup`** configuramos el pin 11 como salida digital. La primera instrucción de **`loop`** activa el pin, llevándolo al estado alto, es decir, a 5 voltios. El pin permanece activo hasta que otro cambie su estado. La siguiente instrucción, `delay(1000)`, impone una pausa de 1000 milisegundos, es decir, un segundo, tras lo cual un nuevo comando `digitalWrite` apaga el pin. El último comando es, de nuevo, una pausa de un segundo. Las instrucciones del bucle han terminado y, a continuación, Arduino volverá a empezar un nuevo ciclo, repitiendo las instrucciones que se encuentran en **`loop`**. La instrucción `digitalWrite` se utiliza para encender o apagar los pines de Arduino. El comando `digitalWrite` requiere dos parámetros: el número del pin y el estado que se le debe asignar (que solo puede ser `HIGH` o `LOW`). Un pin, utilizado como salida digital, puede asumir solo dos valores, correspondientes a encendido y apagado, es decir, 5 o 0 voltios. Un pin digital configurado como salida suministra también una corriente al que le conectamos. Si la solicitud de corriente es excesiva, el pin quedará dañado irremediablemente. Con Arduino, el límite de corriente es de unos diez miliamperios. Por ese motivo, no se puede conectar directamente un relé o un motor que requieren centenares de miliamperios, sino que deben utilizarse transistores o MOSFET de control.

digitalRead

A continuación, intentaremos utilizar un pin como entrada digital para detectar la presión de un botón. El pin configurado como entrada digital puede detectar si la tensión aplicada es de 0 o de 5 voltios. Para comprobar el funcionamiento, conectamos una

placa de pruebas a Arduino. Sobre la placa de pruebas colocamos un botón y una resistencia de 10 kΩ que conectaremos al pin 10. También necesitaremos el led con la resistencia de 470 Ω que hemos utilizado en el experimento anterior.

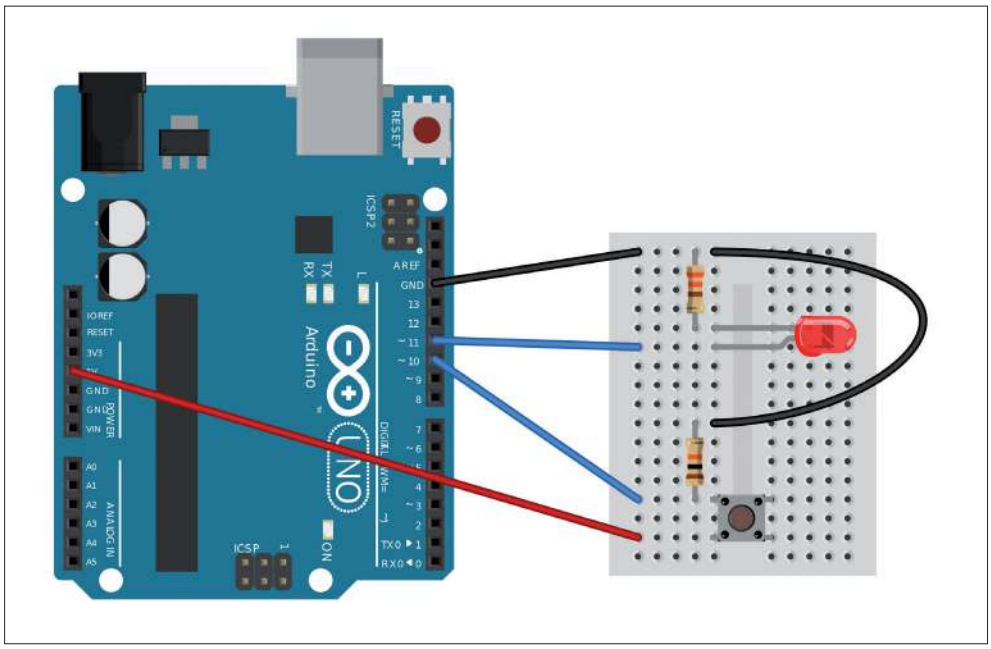


Figura A.5 – Arduino conectado a un botón en el pin 10 y a un led en el pin 11.

El botón tiene dos contactos: uno de los dos se encuentra conectado a tierra mediante la resistencia de 10 kΩ y al pin 10. El otro está a conectado a los 5 voltios de la alimentación. De este modo, la entrada de Arduino está conectada de forma estable a 0 voltios mediante la resistencia. No circula corriente y, por lo tanto, el pin 10 se puede considerar a nivel bajo. Cuando pulsamos el botón, conectamos los 5 voltios a la resistencia y, así, al pin 10. Si no hubiera resistencia, pulsando el botón uniríamos directamente los 5 voltios con la masa, creando un cortocircuito.
El sketch es un poco más complicado:

```
void setup() {
     pinMode(10, INPUT);
     pinMode(11, OUTPUT);
}

void loop() {
     if (digitalRead(10) == HIGH) {
          digitalWrite (11, HIGH);
```

```
        delay(1000);
    }
    digitalWrite (11, LOW);
}
```

En el setup debemos indicar que el pin 10 se comporta como entrada y que el pin 11 es una salida digital. En el `loop`, leeremos el estado del pin 10 mediante `digitalRead`. La función `digitalRead` requiere un único parámetro, el número del pin que hay que leer, y proporciona el estado del pin, que puede ser `HIGH` o `LOW`. La primera línea del bucle lee el estado del pin y, si este es `HIGH` porque alguien ha pulsado el botón, entra en el bloque de las instrucciones delimitado por dos llaves, enciende el pin 11 y espera un segundo. Si nadie pulsa el botón, la lectura del pin devuelve `LOW` y Arduino ejecuta las instrucciones del bloque que va después del `if`, pasando directamente a la última `digitalWrite`, la cual apaga el pin al que se encuentra conectado el led.

analogWrite

La función `analogWrite` se utiliza para generar una señal PWM, es decir, una onda cuadrada de la cual podemos modificar según nuestras preferencias el porcentaje de señal encendida o apagada. Se necesitan dos parámetros: el pin de salida y un número que indica la relación entre encendido y apagado. El número no es un porcentaje, sino un valor que va del 0 al 255. No todos los pines de Arduino pueden generar una señal de este tipo. Los que están habilitados son los siguientes: 3, 5, 6, 9, 10 y 11. Se reconocen porque sobre la placa, junto al número, aparece una pequeña tilde (~).
Vamos a hacer una prueba modificando el sketch del ejemplo anterior y utilizando el mismo circuito. Necesitamos solo el led conectado al pin 11. Con una señal PWM podemos ajustar la luminosidad del led como nos plazca. Si nos parece incómodo utilizar un número del 0 al 255, podemos utilizar la función `map()`, que ejecuta una proporción y remapea los números de 0 a 255 sobre valores del 0 al 100.

```
void setup() {
    pinMode(11, OUTPUT);
}

void loop() {
    int luminosidad = 10;
    int pwm = map(luminosidad, 0,100, 0,255);
    analogWrite (11, pwm);
}
```

En el sketch hemos introducido también un par de variables: `luminosidad` y `pwm`. Una variable es una pequeña porción de memoria en la cual se puede escribir información temporal. En C, el lenguaje que se utiliza para programar Arduino, las variables no pueden ser contenedores genéricos, sino que debemos especificar primero qué es lo

que contendrán. Por este motivo, la primera vez que se utilizan es preciso anteponer al nombre de la variable una palabra especial: `int`. `int` significa *integer*, es decir, un número entero. Las variables `luminosidad` y `pwm` solo podrán contener números enteros. Para asignar un valor a una variable, basta con escribir su nombre, el símbolo `=` y el valor deseado.
Las variables funcionan un poco como si fueran pequeños cajones en los cuales podemos aplicar una etiqueta para acordarnos de qué contienen e incluir información, a veces escribiéndola en un pequeño trozo de papel.

```
int luminosidad = 10;
```

La función `map` toma la variable `luminosidad`, que utilizaremos como si fuera un porcentaje y a la cual asignaremos valores entre 0 y 100, y la remapea entre 0 y 255. Si `luminosidad` vale 10, `map` devolverá 25,5, pero, como debe ser un número entero, obtendremos 26.
Intentad cargar el sketch en Arduino y observad el led. Modificad el valor de la variable `luminosidad` y observad cómo cambia la luminosidad del led.

Serial Monitor

No es fácil entender lo que ocurre sobre una placa. Si el sketch es sencillo y todo funciona, no hay problema, pero si algo va mal, nos gustaría saber más y, seguramente, recibir información por parte de Arduino. Esto es posible utilizando el puerto serie que usamos para la programación. Si el puerto no está ocupado en la programación del microcontrolador, podemos utilizarlo para intercambiar información que podemos leer en una ventana de nuestro ordenador.
Para utilizar el puerto serie de Arduino, es necesario configurarlo en el `setup`:

```
void setup() {
Serial.Begin(9600);
}
```

La configuración del puerto serie requiere un único parámetro, la velocidad de comunicación, que ajustamos a 9600 baudios. Ahora podemos escribir en el puerto serie mediante:

```
Serial.println("¡Hola Mundo!");
```

¿Dónde van a parar estos mensajes? Son enviados a nuestro ordenador y podemos leerlos abriendo un terminal. En el IDE de Arduino, el último icono de la barra de herramientas sirve para abrir el Serial Monitor, es decir, una ventana que recibe y muestra los mensajes enviados por Arduino.

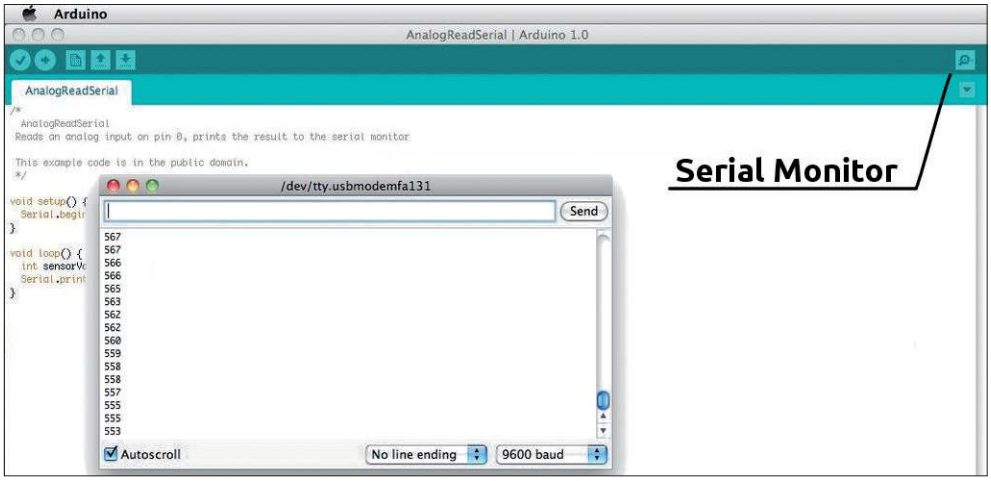


Figura A.6 – Para abrir el Serial Monitor, pulsamos el botón situado en la barra de Arduino.

Este es el sketch para mostrar el texto *Hola Mundo* y el valor de una variable, a intervalos de un segundo:

```
int recuento = 0;

void setup() {
     Serial.Begin(9600);
}

void loop() {
     Serial.println("¡Hola Mundo!");
     Serial.print("recuento: ");
     Serial.println(recuento);
     delay(1000);
     recuento++;
}
```

Hemos añadido la variable `recuento`. Esta variable está fuera de `loop` y `setup` para que pueda ser accesible en ambos bloques de instrucciones. En `setup` inicializamos el puerto serie y en `loop` mostramos un texto con `Serial.println`. La segunda instrucción utiliza `print` en lugar de `println`; la diferencia está en que `println` escribe algo y vuelve al inicio. El tercer comando de impresión escribe en el terminal la variable `recuento`. Observamos una pausa de un segundo y, después, el texto `recuento++`, que sirve para aumentar en una unidad el valor contenido en la variable `recuento`.

analogRead

Arduino puede leer valores analógicos y convertirlos en un número entre 0 y 1023. En la placa se encuentran reservados seis pines para llevar a cabo esta operación. Los

pines se denominan A0, A1, A2, A3, A4 y A5. Podemos conectar cualquier tipo de sensor analógico que produzca una tensión entre 0 y 5 voltios. Vamos a intentar conectar un termistor a Arduino y leer su valor. El termistor tiene un valor de resistencia en reposo de unos 10 kΩ, razón por la cual lo conectaremos en serie a una resistencia de 10 kΩ, formando un divisor conectado entre GND y los 5 voltios de Arduino. Conectaremos el pin A0 al punto central del divisor.

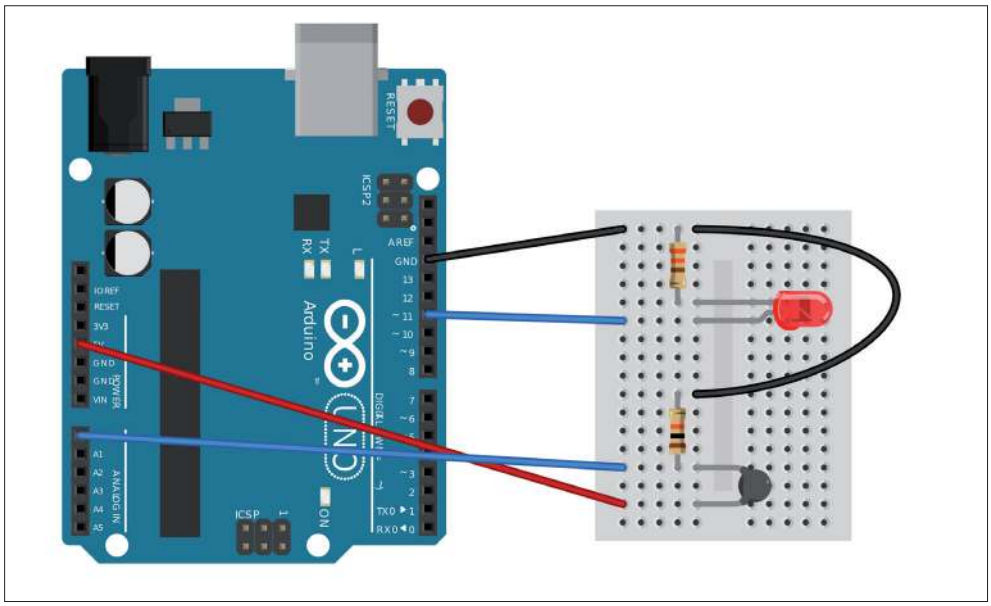


Figura A.7 – Esquema de conexión de Arduino a un termistor (sobre una placa de pruebas).

Para utilizar una entrada analógica, no es necesario declararlo en el `setup`. Intentemos cargar un sketch que lee la tensión a los extremos del termistor y, si esta supera un determinado umbral, enciende y apaga un led. Utilizaremos también el puerto serie para visualizar los valores leídos por el sensor.

```
void setup() {
     Serial.Begin(9600);
     pinMode(11, OUTPUT);
}

void loop() {
     int lettura = analogRead(A0);
     Serial.print("lectura sensor: ");
     Serial.println(lectura);
     if ( lectura > 400 ) {
          digitalWrite(11, HIGH);
     } else {
```

```
        digitalWrite(11, LOW);
    }
    delay(100);
}
```

En `setup` configuramos el puerto serie y el pin 11 que se comportará como salida. En `loop`, el valor detectado por `analogRead` se conserva en la variable `lectura`. Si el valor de la variable `lectura` es superior a un umbral de 400, el led del pin 11 se encenderá. Tenemos un retraso de 100 milisegundos para limitar el número de lecturas. Sería inútil leer una temperatura miles de veces por segundo. Hemos ajustado el valor del umbral de forma arbitraria y, probablemente, al principio parecerá que el circuito no funcione. Abrimos el Serial Monitor de Arduino y observamos los valores que se van sucediendo: los utilizaremos para ajustar correctamente el umbral.

Otros comandos

Lo creáis o no, estos son los cuatro comandos más utilizados en los proyectos con Arduino. Existen muchas otras funciones que podéis consultar en Internet o mediante la ayuda en línea de Arduino. A continuación, os indico otras funciones interesantes.
La función `tone()` genera una nota musical con la frecuencia deseada. Arduino puede tocar una sola nota a la vez. Para escuchar las notas, debemos conectar un pequeño zumbador (*buzzer*) piezoeléctrico o un altavoz al pin deseado. La frecuencia se indica en hercios y la duración de la nota en milisegundos.

```
tone(pin, frecuencia, duración)
```

Para saber durante cuántos milisegundos se enciende Arduino utilizamos `millis()`, que devuelve una variable de tipo `long` (que es capaz de contener números enteros mucho más grandes que los que puede contener `int`). El número proporcionado aumenta hasta un valor máximo (unos cincuenta días) y, después, vuelve a empezar de cero.

```
millis()
```

Es posible tener precisiones mayores con la función `micros()`, que trabaja en microsegundos.
Para detectar la duración de un impulso en un pin, podemos utilizar `pulseIn()`, que devuelve un número en milisegundos. Si esperamos un impulso de tipo HIGH en un pin, en cuanto el pin pasa a nivel alto, la ejecución del sketch se bloquea a la espera del final del impulso. Podemos detectar impulsos de tipo alto o bajo y ajustar un *timeout*, para que, si tras un tiempo determinado el impulso no conmuta, `pulseIn` termina y el programa puede continuar.

```
pulseIn(pin, value )
pulseIn(pin, value , timeout)
```

B

Apéndice B
Arduinoscopio

No todos podemos permitirnos un osciloscopio caro, pero muchos de nosotros podríamos tener en un cajón un Arduino. Podríamos utilizarlo en combinación con un *software* para visualizar gráficos, para construir un sencillísimo osciloscopio DIY. Este instrumento es muy limitado y tiene muy pocas prestaciones, pero, a pesar de estas limitaciones, puede resultar muy útil para echar un vistazo, aunque de un modo muy aproximado, a las señales que circulan por un circuito.

El principio de funcionamiento es simple. Se utiliza una de las entradas analógicas de Arduino para medir una señal lo más rápidamente posible. Los números medidos se envían después a un ordenador mediante el puerto serie. Un *software* recibe la lectura y la dibuja sobre un gráfico.

El proyecto del osciloscopio con Arduino es de código abierto y se puede descargar desde:

http://accrochages.drone.ws/en/node/90.

Para que funcione, necesitamos también Processing, una plataforma que se utiliza para realizar programas gráficos en Java. Processing también es un programa de código abierto que se puede descargar desde la siguiente dirección:

http://www.processing.org.

Para su instalación, en primer lugar, es preciso cargar el sketch de Arduino en la placa y después podemos cerrar el entorno de trabajo de Arduino. ¡El sketch es mínimo! Basta con leer los valores que se presentan en el pin analógico (A0) y escribirlos en el puerto serie con el comando `Serial.write()`. En el `setup` del sketch, la velocidad de transmisión de los datos está ajustada a 9600 baudios. Vamos a intentar modificarla para obtener mejores lecturas. Lo importante es configurar la misma velocidad en el sketch de Processing.

```
#define ANALOG_IN 0

void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
  //Serial.begin(115200);
}

void loop() {
  int val = analogRead(ANALOG_IN);
  Serial.write( 0xff );
  Serial.write( (val >> 8) & 0xff );
  Serial.write( val & 0xff );
}
```

Tras haber cargado el *firmware*, dejamos conectada la placa al ordenador. El siguiente paso es cargar en Processing el archivo pmscope_display.pde, escrito por Sofian Audry y publicado en http://accrochages.drone.ws con licencia *Free Software*.
Abrimos una nueva ventana en Processing y pegamos el código descargable desde la dirección http://bit.ly/elmaker_oscilloscopio. Processing debería resultarnos bastante familiar, puesto que es la misma plataforma que utiliza Arduino. Para ejecutar un sketch, pulsamos el botón con un triángulo que vemos en la barra de herramientas. Antes de iniciarlo, sin embargo, debemos modificar los ajustes del puerto serie. También en Processing el sketch dispone de una sección `setup()`. En ella, veremos la siguiente instrucción:

```
// Open the port that the board is connected to and use the same speed (9600 bps)
  port = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
```

El programa detecta la lista de puertos serie del ordenador y se conecta al primero de la lista, que obviamente podría no ser el de Aduino. Si aparecen mensajes de error y no se muestra ninguna lectura, probad a modificar el número entre corchetes. Con 0 indicamos el primer puerto de la lista. Escribimos 1 o 2 y vemos si el circuito funciona. Para realizar una lectura, conectamos la masa (GND) de Arduino a la masa del circuito en pruebas y, después, insertamos un *jumper* en A0 y lo utilizamos como sonda.

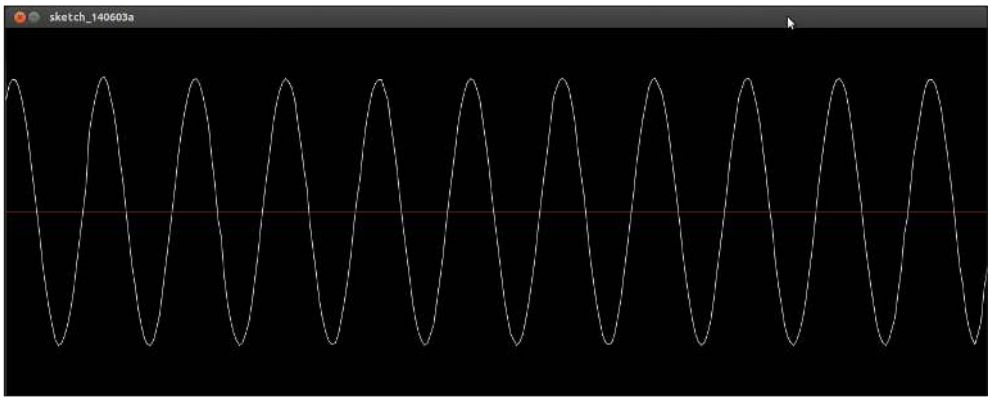


Figura B.1 – Onda sinusoidal.

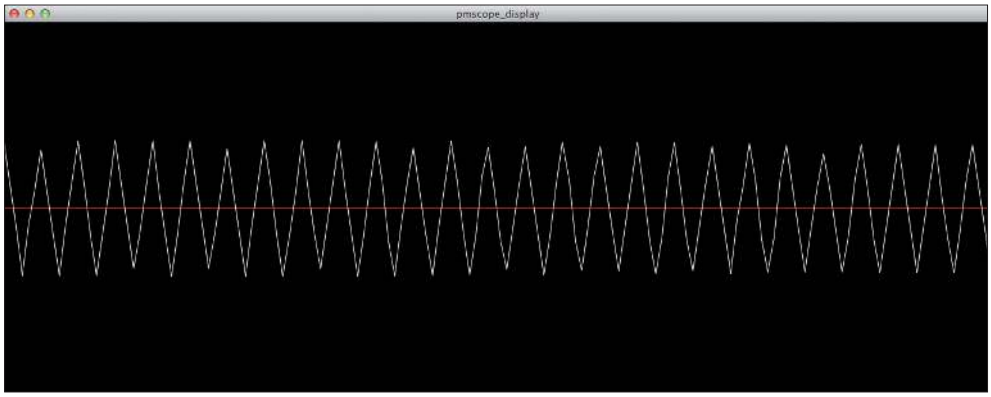


Figura B.2 – Onda triangular.

A partir del proyecto original nacieron otros proyectos similares, entre los cuales destaco:

https://code.google.com/p/arduinoscope/.

Esta variante es ligeramente más compleja porque requiere la instalación de dos librerías en Processing y un *patch* para Arduino. La interfaz de Processing es más completa; puede congelar la visualización de las señales, puede leer más pines y muestra la tensión también en voltios.

Bibliografía

Il manuale del Maker – Paolo Aliverti e Andrea Maietta – LSWR

Ed. Ing. The Maker's Manual – Paolo Aliverti e Andrea Maietta – Maker Media
Un libro que presenta el mundo de los *makers* y de la *Digital Fabrication*. Un resumen de todos los argumentos necesarios para llevar a cabo cualquier idea. Las tecnologías aditivas y sustractivas, la electrónica y el *software* que todo *maker* debería conocer.

Il manuale dello scienziato – M. Johnson, J.G. McPherson, A. Ward - Arnoldo Mondadori
El manual con el cual empecé a estudiar electrónica y a realizar experimentos. Un libro ilustrado y muy intuitivo que habla de física, química y electrónica.

Elettrotecnica figurata – G.Busher – Hoepli
Es un manual de electrotecnia ilustrada. Cada concepto está explicado con analogías hidráulicas. Hace tiempo que se encuentra descatalogado.

Practical Electronics for Inventors – Paul Scherz – McGraw-Hill
Un completo libro sobre electrónica. Cada argumento se explica de manera sencilla y poco a poco se va estudiando hasta el más mínimo detalle. Adecuado para el principiante y para el *maker* experto, porque es siempre fuente de inspiración con sus múltiples ejemplos prácticos. El libro está en inglés.

Microelettronica – Millman – McGraw-Hill
Es un libro de electrónica universitario, muy completo y profundo. Para leerlo se necesitan conocimientos de matemáticas y física.

Arduino – La guida ufficiale – Massimo Banzi – Tecniche Nuove
La guía introductoria de Arduino escrita por su fundador. Un pequeño libro que enseña todo lo que hay que saber para empezar a dar los primeros pasos en el mundo de Arduino.

Making things talk – Tom Igoe – Maker Media
Este libro es maravilloso: clarísimo y completo. Explica cómo coger confianza con sensores, actuadores y sistemas de transmisión de datos. Los proyectos están descritos con ejemplos y los resultados son siempre asombrosos. En inglés.

Make: Electronics – Charles Platt – Maker Media
Un libro que explica la electrónica de un modo sencillo e intuitivo. Las explicaciones están siempre vinculadas a experimentos prácticos. Está bien escrito y es comprensible. En inglés.

Raspberry Pi. Guida all'uso – Walter Minute – Edizioni FAG
Un manual óptimo sobre la placa Raspberry Pi. Se muestra cómo instalar el sistema, desarrollar *software* y controlar las entradas GPIO.

Stampa 3D. Guida completa – Andrea Maietta – LSWR
Un manual claro y completo para conocer todos los secretos de la impresión 3D.

Bi-directional level shifter for I²C-bus and other systems - Herman Schutte
APPLICATION NOTE - AN97055

Philips Semiconductors Systems Laboratory Eindhoven, The Netherlands
http://www.nxp.com/documents/application_note/an97055.pdf

Vínculos y referencias *online*

Breve lista de distribuidores y tiendas de componentes electrónicos:

- Adafruit (http://www.adafruit.com/)
- Arduino (http://arduino.cc/)
- BeagleBone (http://beagleboard.org/)
- DigiKey (http://www.digikey.it/)
- Farnell (http://it.farnell.com/)
- Mouser (http://www.mouser.it/)
- OpenPicus (http://www.openpicus.com/)
- Raspberry Pi (http://www.raspberrypi.org/)
- Robot Italy (http://www.robot-italy.com/)
- Robot Store (http://www.robotstore.it/)
- RS component (http://it.rs-online.com/web/)
- SeedStudio (http://www.seeedstudio.com/)
- Sparkfun (http://www.sparkfun.com/)
- Wiring (http://wiring.org.co/)

Vínculos útiles

- Tutorial para la programación de los ATtiny en highlowtech.org - http://bit.ly/*maker*sattiny.
- Instrucciones para construir el programador FabISP publicadas en el sitio del MIT - http://bit.ly/*maker*sfabisp.
- www.zeppelin*maker*.it – os indico también mi sitio web, en el cual publico posts relacionados con la *Digital Fabrication*. El sitio contiene una sección dedicada a este libro, donde encontraréis ideas y proyectos.
- StackExchange – un sitio donde podéis publicar preguntas y dudas para obtener respuestas por parte de otros usuarios – http://electronics.stackexchange.com/.
- En el sitio Instructables (http://www.instructables.com/) podéis encontrar la descripción completa de proyectos electrónicos con las instrucciones detalladas para llevarlos a cabo.

Hojas de especificaciones

Para buscar las hojas de especificaciones, yo utilizo el sitio de RS Components o de Farnell. En la página de cada componente, se adjuntan los archivos técnicos con medidas y características. No es preciso registrarse en el sitio para acceder a los archivos.

App para *smartphone*

Electrodroid: es una app para Android y iPhone que todo electrónico debería tener en su teléfono. El programa contiene fórmulas, pinouts y muchas herramientas para resolver problemas cotidianos y frecuentes de sus proyectos.

Índice analítico

Símbolos

1N4005, 123
1N4007, 123
1N4148, 123
2N2222, 130
2N5457, 146
2N5460, 146
2N7000, 148
4N35, 82
74HC00, 227
74HC02, 227
74HC04, 218
74HC08, 224
74HC32, 222
74HC86, 226
123d circuits, 279
4077B, 227
7805, 155, 209
7905, 211

A

acelerómetro, 249
álgebra booleana, 217
alicates, 91
alimentación
  dual, 185, 214
alimentador, 207
  regulable, 212
  switching, 208
altavoz, 85
ámbar, 18
amperio, 19
Ampère André-Marie, 19
amperímetro, 20
amplificación, 175
amplificador, 175
  audio, 156
  búfer, 184
  diferencial, 179
  ganancia, 176
  inversor, 181
  no inversor, 182
  operacional, 179
  símbolo, 176
amplificador 2W, 333
amplificador audio, 187
amplificador operacional, 155, 179
  entrada inversora, 180
  entrada no inversora, 180
  mezclador, 185
  offset, 179
  símbolo, 179
Android, 262
ánodo, 64, 123
arquitectura, 254
Arduino, 241, 246, 257, 347
  analogRead, 270, 350, 356
  analogWrite, 270, 318, 328
  delay, 270
  delaymicroseconds, 270
  digitalRead, 270, 325, 349
  digitalWrite, 270, 349
  DUE, 258
  galileo, 258

loop, 349
map, 354
MEGA, 258
micros, 270, 358
millis, 270, 358
patch, 266
pinmode, 270
println, 357
pulseIn, 270, 358
reset, 349
serial monitor, 317
setup, 311
shiftout, 270
sketch, 349
tone, 358
UNO, 257
verify, 351
arduinoISP, 263
arm, 255
armadura, 68
arsénico, 121
astable, 199, 236
atmega, 256
atmega128, 258
atmega328, 257, 263
atmel, 255, 347
attiny, 259, 263, 266, 269
attiny85, 266
auto-routing, 290
avr, 255
avr-dude, 264, 274
avr-gcc, 274
avr-gdb, 274

B

baquelita, 114, 299
banda base, 197
Banzi Massimo, 347
Bardeen John, 127
Barragan Hernando, 258
base, 127
batería, 201
duración, 204
paralelo, 202
recargable, 203
serie, 202
beaglebone, 261
Becattini Gianni, 216
beta, 135
biestable, 239, 241
bit, 217
BJT, 127
bobina, 75
bobina de choque, 77
Boole George, 217
bootloader, 255, 273
Brattain Walter, 127
Braun Karl Ferdinand, 122
brazalete antiestático, 154
breadboard, 92, 93
broadcom, 261
brown out detect, 265
bucle, 274
búfer, 184, 227

C

cable
coaxial, 74
eléctrico, 73
estañado, 111
flujo, 75
sección, 74
trenzado, 74
cableado, 283
cae, 279
calor
disipación, 208
cambiador de nivel, 251
Camenzind Hans, 155
campo eléctrico, 24
campo electromagnético, 75
canal, 172
capa, 278
capes, 262
carga
negativa, 18
cátodo, 64, 123
celda de memoria, 240
circuito, 15
antirrebote, 241

codificador, 231
combinacional, 229
descodificador, 231
impreso, 277
secuencial, 235
circuito integrado, 152
circuito lógico, 217
circuito secuencial, 239
circuito impreso, 13
fabricación, 298
fijación, 302
grabado, 303
cisc, 254
clock, 235
cloruro de hierro, 303
cmos, 227
coder, 231
codificador, 231
código máquina, 254
colector, 127
colector abierto, 227
compensador, 73
compilación, 274
compilador, 255, 274
componente
soldadura, 111
común, 214
condensador, 68
carga, 160
cerámico, 71
de filtro, 103
desacoplamiento, 229
electrolítico, 70
lectura, 70
paralelo, 72
poliéster, 71
condensador variable, 73
conductores, 18
conexión
paralelo, 104
serie, 103
conmutador, 79
contador, 247
de cuatro bits, 248
decimal, 247
contacto
falso, 98
conversión de datos, 231
convertidor
decimal, 231
corriente
alterna, 21
continua, 21
medida, 19, 40
corriente eléctrica, 18
CPU, 253
cristal de cuarzo, 238
crossover, 86
cuantificación, 249
cuarzo, 238, 270

D

decibelio, 177
demodulador, 198
demultiplexor, 233
demux, 233
depurador, 274
desoldador, 93, 114
desoldadura, 114
destornillador, 91
desviador, 79, 241
doble, 79
dieléctrico, 68
diferencia de potencial, 23
diferenciador, 187
digital signal processor, 189
DIL, 153
diodo, 121
de germanio, 123
polarización directa, 123
polarización inversa, 123
rectificador, 123
schottky, 123, 127, 227
varicap, 123, 127
zener, 123, 127
diodo varicap, 73
dipolo, 14
disipador, 211
divisor de coriente, 56
divisor de tensión, 54, 249

DN2530, 151
dopaje, 121
drain, 144, 146
dual in line, 153

E

eagle, 279
eclipse, 256
ecualizador, 336
electricidad, 18
electrones, 18
emisor, 127
Eniac, 217
enrutamiento, 279
entrada
  analógica, 266, 271
  digital, 266
espectro de frecuencia, 175
esponja, 93, 110
esquema eléctrico, 15
estación de desoldadura, 114
estañado, 110
estaño, 93
estator, 83

F

fabisp, 263
fablab, 262
familia lógica, 227
fan out, 229
faradio, 68
far side, 289
factor de calidad, 75, 195
fet, 144
  avalancha, 145
  corte, 145
  región lineal, 145
  ruptura, 145
  saturación, 145
filtro, 189
  de sintonía, 195
  frecuencia de corte, 190
  notch, 196
  paso alto, 193
  paso bajo, 190
  paso banda, 195
filtro activo, 189
filtro digital, 189
filtro pasivo, 189
firmware, 255, 274
flip-flop, 153, 239, 241
  master-slave, 241
flujo, 107
flyport, 259
footprint, 284
fotodiodo, 63
fotorresistente, 299
fotorresistor, 62
fototransistor, 63
Fourier Jean Baptiste Joseph, 175
Franklin Benjamin, 19
frecuencia, 29
  de muestreo, 248
  de oscilación, 236
frecuencia central, 195
frecuencia de corte, 191, 194
freertos, 259
fresa cnc, 306
Fritzing, 103, 279, 294
fuente, 144, 146
fuses, 264, 273

G

galio, 121
gate, 144
gEDA, 279
generador, 205
  de corriente, 205
  de onda cuadrada, 236
  de tensión, 205
generador de señales, 198
generador piezoeléctrico, 86
gerber, 280, 292
gerbv, 280
gerbview, 292
germanio, 121
Gershenfeld Neil, 262
gestor de arranque, 255
grafo, 15
grove, 260

gschem, 280

H
hola mundo, 96, 355
henrio, 75
hercio, 29
Hfe, 136
hidróxido de sodio, sales de, 302
hierro, 75
hoja de especificaciones, 17
hold, 240
huella, 284

I
I²C, 311
if, 316
impedancia, 86, 178
  acoplamiento, 88
  entrada, 178
impresora de contacto, 299
inductancia, 75
inductor, 75
in system programming, 263
integrador, 186
Interaction Design Instituto de Ivrea, 257
interfaz bidireccional, 250
interruptor, 78
  digital, 235
interruptor de estado sólido, 82
interruptor de mercurio, 81
interruptor Soft Latch, 321
IRF520, 148
islas, 114, 278

J
Java, 262
jumper, 92, 95
  construcción, 113

K
Karnaugh
  mapas de, 215, 230
kicad, 279
Kilby Ted, 153
Kirchhoff
  ley de corrientes, 31
  ley de tensiones, 32

L
laboratorio, 90
láser, 66
layout, 281
led, 64
  bicolor, 65
  controlado por luz, 312
  de encendido progresivo, 319
  intermitente, 308
  matrices de, 66
  oscilante, 326
  RGB, 66
lenguaje C, 255, 259
lente de aumento, 91
level shifter, 251
limón, 202
LM35, 61
LM317, 155
LM386, 156, 187
logaritmo, 178
lógicas programables, 216
loop, 274
LTR4206E, 169

M
makefile, 274
mallas, 31
masa, 214
máscara de soldadura, 289
máster, 299
mcu, 253
medida
  resistencia, 59
medidas eléctricas, 36
memoria, 239
  eeprom, 254
  flash, 254
  ram, 254
mezclador, 185, 337
microamperio, 19
microchip, 255
microcontrolador, 216, 253

micrófono, 87
de condensador, 87
de cinta, 87
direccionalidad, 88
electret, 87
impedancia, 87
sensibilidad, 88
microprocesador, 253
mil, 289
miliamperio, 19
miso, 264, 311
módem, 198
modulación
de amplitud, 197
de frecuencia, 197
modulador, 197
montaje
de agujeros pasantes, 278
superficial, 278
Moore
ley de, 153
Moore Gordon, 153
mosfet, 146
interruptor, 148
logic level, 152
región lineal, 150
tipo depletion, 147
tipo enanchement, 147
mosi, 264, 311
motor
sin escobillas, 83
de corriente continua, 83
paso a paso, 84
regulación, 83
motor eléctrico, 83
mplabx, 256
muestra, 248
multímetro, 36
multiplexor, 233
mux, 233

N

NE555, 155
netlist, 287
nodo, 16
Noyce Robert, 153
NPN, 128

O

Ohm, 44
ley de, 33
Ohm George Simon Alfred, 44
open collector, 227
openpicus, 259
operador lógico, 217
optoacoplador, 82
oscilador, 198
osciloscopio, 173, 359
banda, 173

P

pad, 278, 289
pantalla
LCD, 66
siete segmentos, 66
partículas, 18
pasta de soldar, 93
pcb, 280
printed circuit board, 13
perforada, 114
periodo, 29
pic, 254, 256
pickit3, 256
pin, 289
pinzas
de electricista, 91
pelacables, 91
pistas, 278
placa
de cobre, 299
presensibilizada, 299
SD, 249
placa de desarrollo, 256
placa de pruebas, 92, 93, 294
planta de trabajo, 91
PNP, 128
polaridad, 19, 32
polo, 74
negativo, 19
positivo, 19

PostScript, 292
potencia, 28
potenciómetro, 57
preamplificador con transistor, 335
processing, 258, 359
programador, 255, 274
programador ISP, 263
projectione, 312
protoboard, 114
prototipo, 277
puente rectificador, 207
puerta, 144, 146
puerta digital, 257
puerta lógica, 217
  and, 224
  búfer, 227
  exor, 224
  nand, 226
  nor, 226
  not, 218
  or, 221
pulsador, 78
pulse width modulation, 67
pwm, 266, 316
Python, 261

Q

Q, 75, 195
quine-mc cluskey
  método de, 230

R

radio a transistores, 338
RAM, 253
Raspberry Pi, 260
raspbian, 260
rats, 287, 289
rayos uv, 255
rc servo, 84
reactancia, 69, 76
receptor, 172
red combinacional, 230
referencia, 284
registro, 243
  de desplazamiento, 243
  pipo, 243
  piso, 243, 247
  sipo, 243
  siso, 243
regulador de tensión, 209
relación señal-ruido, 177
relé, 80
  dry-reed, 81
reóforos, 30
reóstato, 59
reset, 239
resistencia
  cálculo, 33
  equivalente, 52
resistor, 33
  bandas, 45
  código de colores, 46
  lectura valor, 46
  paralelo, 51
  serie, 50
  símbolo, 48
  variable, 58
risc, 254
rohs, 107
rosin, 93, 107
rotor, 83
route style, 290
ruido, 172, 176, 177

S

salida
  digital, 266
saltador, 92
sck, 264
scratch, 261
semiconductor, 121
  tipo n, 121
  tipo p, 121
señal, 171
  analógica, 172, 248
  digital, 172, 248
  de sincronía, 235
  pwm, 257
serial peripheral interface, 311
servomotor, 84, 270

set, 239
setup, 274
shield, 257
shift register, 243
Shockley William, 127
Schutte
  Herman, 250
signal noise ratio, 177
silicio, 121
silk, 289
símbolo, 14
sinusoidal, 174
sistema operativo, 253
sketch, 246, 258, 274
smokey amp, 187
soda cáustica, 302
soldador, 92, 106
soldadura
  fría, 112
  isla, 112
  terminal, 112
soldar, 106
solder mask, 289
sondas, 37
source, 144
sparc, 255
spi, 311
stripboard, 114
sumador binario, 225
switch, 78

T

tabla de la verdad, 218, 229
teclado telegráfico, 171
temporizador, 200
tensión
  correcta, 25
  medida, 38
terminales, 15, 16
termistor, 61
  NTC, 61
  PTC, 61
tercera mano, 93, 108
Tesla Nikola, 21
tester, 036
tester de estrés, 311
Thevenin
  circuito equivalente, 137
  generador equivalente, 138
  resistencia equivalente, 137
thou, 289
tierra, 214
tijeras, 91
timer, 155, 200
TL081, 180
TO35, 129
TO220, 129
transductor, 172
transformada de Fourier, 175
transformador, 77
transistor, 127
  de efecto de campo, 144
  beta, 136
  bipolar, 127
  corte, 130, 133
  región activa, 130
  saturación, 130, 133
  zona activa, 134
Transistor-Transistor Logic, 227
transmisor, 172
trenza de cobre, 114
trimmer, 58
tweeter, 86

U

uA741, 155, 179
unión pn, 122

V

vetronite, 114, 299
vía, 278, 289
Volta Alessandro, 24
voltaje, 24
voltímetro, 24
voltio, 24
vúmetro, 331

W

watt, 28
Watt James, 28
Widlar Robert, 155
William Shockley, 153
winavr, 264
wiring, 257, 258
woofer, 86

X

xgsch2pcb, 280

Z

Zinky Bruce, 187
zócalo, 115
zumbador, 86